1975

HERMANN SCHROEDEL VERLAG KG
Hannover · Dortmund · Darmstadt · Berlin

Gesamtherstellung: Druckerei Hans Oeding, Braunschweig

Printed in Germany

H 6661 F

Grundlagenstudien aus Kybernetik und Geisteswissenschaft

Erste deutschsprachige Zeitschrift für Kybernetische Pädagogik und Bildungstechnologie

Informations- und Zeichentheorie
Sprachkybernetik und Texttheorie
Informationspsychologie
Informationsästhetik
Modelltheorie
Organisationskybernetik
Kybernetikgeschichte
und Philosophie der Kybernetik

Begründet 1960 durch Max Bense
Gerhard Eichhorn
und Helmar Frank

Band ~~15~~ 16 · Heft 3
September 1975
Kurztitel: GrKG ~~15/3~~ 16 / 3

INHALT

HERMANN SCHROEDEL VERLAG KG

Im Verlaufe der sechziger Jahre gewann im deutschen Sprachraum, insbesondere im Umkreis der „Grundlagenstudien aus Kybernetik und Geisteswissenschaft", die Erkenntnis an Boden, daß die eigentliche Triebfeder der Kybernetik das Bedürfnis ist, die Vollbringung auch *geistiger* Arbeit an technische Objekte zu delegieren, kurz: sie zu *objektivieren*, und daß dies nicht ohne eine über die geisteswissenschaftlich-phänomenologische Reflexion hinausgehende wissenschaftliche Anstrengung in vorhersehbarer und reproduzierbarer Weise möglich ist, nämlich nicht ohne eine *Kalkülisierung* geistiger Arbeit. Die Bedeutung der Logistik, der Informationstheorie und der Theorie abstrakter Automaten als mathematische Werkzeuge wird von diesem Gesichtspunkt aus ebenso einsichtig wie der breite Raum, den die Bemühungen um eine Kalkülisierung im Bereich der *Psychologie* und im Bereich der Sprache bzw., allgemeiner, der *Zeichen*, einnahmen.

Die geistige Arbeit, deren Objektivierbarkeit allmählich zum Leitmotiv dieser Zeitschrift wurde, ist nicht jene geistige Arbeit, die sich selbst schon in bewußten Kalkülen vollzieht und deren Objektivierung zu den Anliegen jenes Zweiges der Kybernetik gehört, die heute als Rechnerkunde oder Informatik bezeichnet wird. Vielmehr geht es in dieser Zeitschrift vorrangig darum, die verborgenen Algorithmen hinter jenen geistigen Arbeitsvollzügen aufzudecken oder wenigstens durch eine Folge einfacherer Algorithmen anzunähern und damit immer besser objektivierbar zu machen, welche zur Thematik der bisherigen Geisteswissenschaften gehören. Der größte Bedarf an Objektivation in diesem Bereiche ist inzwischen bei der geistigen Arbeit des *Lehrens* aufgetreten. Mit der Lehrobjektivation stellt diese Zeitschrift ein Problem in den Mittelpunkt, dessen immer bessere Lösung nicht ohne Fortschritte auch bei der Objektivierung im Bereich der Sprachverarbeitung, des Wahrnehmens, Lernens und Problemlösens, der Erzeugung ästhetischer Information und des Organisierens möglich ist. Die Bildungstechnologie als gemeinsamer, sinngebender Bezugspunkt soll künftig auch bei kybernetikgeschichtlichen und philosophischen Beiträgen zu dieser Zeitschrift deutlicher sichtbar werden. (GrKG 13/1, S. 1 f.)

Manuskriptsendungen gemäß unseren Richtlinien auf der dritten Umschlagseite an die Schriftleitung:

Prof. Dr. Helmar Frank
Assessorin Brigitte Frank-Böhringer
(Geschäftsführende Schriftleiterin)
Institut für Kybernetik
D-479 Paderborn, Riemekestraße 62
Tel.: (0 52 51) 3 20 23 u. 3 20 90

Die GrKG erscheinen in der Regel mit einer Knapptextbeilage in Internationaler Sprache mit dem Titel „Homo kaj Informo".

Anzeigenverwaltung und Vertrieb: Hermann Schroedel Verlag KG, D-3 Hannover 81, Zeißstraße 10

Erscheinungsweise: Viermal im Jahr mit je ca. 36 Seiten.
Preis: Einzelheft DM 7,40 — Jahresabonnement DM 29,60 (jeweils zuzüglich Postgebühren und MWSt.).

Abbestellungen von Jahresabonnements nur bis einen Monat vor Jahresende.

Über Begriff und Einteilung von Lernvorgängen aus der Sicht des Ingenieurs

von Winfried OPPELT, Darmstadt
aus dem Institut für Regelungstechnik der Technischen Hochschule Darmstadt
(Direktor: Prof. Dr.-Ing. W. Oppelt)

Ursprünglich wurde der Begriff Lernvorgang nur im Zusammenhang mit lebenden Wesen verwendet. Der Ingenieur hat jedoch in letzter Zeit in zunehmendem Maße vielteilige, selbsttätig wirkende Anlagen entworfen, deren Verhalten sich in vielen Punkten dem Verhalten lebender Wesen annähert. Deshalb ist die Benennung „Lernen" auch in den technischen Sprachgebrauch eingedrungen und wird dort für bestimmte maschinelle Systeme benutzt.

Wir wollen an einigen Beispielen für dieses Gebiet die Denkweise des Ingenieurs aufzeigen.

In selbsttätig wirkenden (automatischen) Anlagen unterscheidet der Ingenieur zwischen dem *Wirkungsgefüge* (der „Struktur") einerseits und den *Parametern* andererseits. Das Wirkungsgefüge wird durch ein Blockschaltbild dargestellt und gibt an, in welcher Weise die einzelnen Größen der Anlage (Drücke, Temperaturen, Spannungen, Hebelstellungen) aufeinander einwirken. Die einzelnen Blöcke werden dabei als rückwirkungsfreie Gebilde angesehen, die deshalb einen „Eingang" und einen „Ausgang" haben. Dies wird durch Pfeilrichtungen angegeben. Die Ausgangsgröße ist von der Eingangsgröße abhängig. In erster Näherung kann diese Abhängigkeit zumeist durch eine lineare Differentialgleichung mit konstanten Beiwerten dargestellt werden. Diese Beiwerte sind die „Parameter" der Struktur. Sie können aus den Abmessungen der Anlage berechnet werden.

In vielen Teilen der Anlage können die Parameter aber verhältnismäßig einfach verändert werden; beispielsweise durch Veränderung von Hebelübersetzungen, oder durch Verstellen von elektrischen Spannungsteilern. Welche Größen auf welche anderen Größen einwirken, ist dagegen durch den Aufbau der Anlage festgelegt und kann nur durch Umbauen verändert werden. Auf der Form der Wirkungsstruktur liegt deshalb das Hauptgewicht, während die quantitativen Werte der Parameter demgegenüber zurücktreten.

Unter den vom Ingenieur geschaffenen Strukturen hat die *Regelkreis-Struktur* besondere Bedeutung. Mit ihr ist es möglich, die Ausgangsgröße in strenge Abhängigkeit von der Eingangsgröße zu bringen, ohne daß äußere Störgrößen oder Veränderungen in den Parametern der Stellelemente darauf wesentlichen Einfluß nehmen können. Am Regelkreis sind deshalb auch zuerst die Gesetze der Wirkungsgefüge untersucht und herausgearbeitet worden. Dort wurde das erste Blockschaltbild (K. Küpfmüller, 1928) angegeben, dort wurden besondere leistungsfähige mathematische Verfahren (z.B. die Frequenzdarstellung) entwickelt.

Schon früh wurde der Zusammenhang zwischen technischen Regelanlagen und biologischen Bewegungsmechanismen erkannt (F. Linke, 1879). Wir wollen auch hier von diesem Zusammenhang ausgehen und daran den „Lernvorgang" besprechen. Er läßt sich dabei aus mehreren Schichten aufbauen, in denen jeweils typische Aufgaben gelöst, also „gelernt" werden sollen.

In der untersten Schicht handelt es sich um einen einfachen *Stellungsregelkreis*, mit dem die Lage (Stellung) der einzelnen Gliedmaßen beherrscht werden soll. Unbewußte Lernvorgänge, die sich in unserer Kindheit abspielten, haben diesen Regelkreis im allgemeinen bereits in die Nähe seines individuellen Optimums gebracht.

In der nächst höheren Schicht bedienen die Gliedmaßen bestimmte Hebel, die (zumeist in technischen Anlagen) andere, abhängige Größen geeignet beeinflussen sollen. Das ist beispielsweise bei der Führung eines Fahrzeugs (Kraftwagen, Schiff, Flugzeug) der Fall, aber auch bei den Kunststücken eines Jongleurs, der ein mehrteiliges, übereinandergestelltes Stabsystem „balanciert". In dieser Schicht soll also das *Stabilhalten* einer vielteiligen Anlage gelernt werden, deren Betriebszustand ohne geeignete äußere Eingriffe gegebenenfalls sogar zusammenbrechen würde.

In der dritten Schicht schließlich soll das „geeignete Beeinflussen" der abhängigen Größen im Vordergrund stehen. Stabilhalten allein soll jetzt nicht mehr genügen, sondern die Anlage soll bestimmte vorgegebene Bewegungsabläufe ausführen. Das ist beispielsweise der Fall bei bestimmten Turnübungen (Riesenwelle am Reck, Salto usw.), bei Kunstflugfiguren (Überschlag eines Flugzeuges), aber auch beim Eingriff in unübersichtliche, beispielsweise sozioökonomische, Strukturen. Für diese Aufgaben muß ein bestimmtes *Ablaufprogramm* aufgebaut werden, das von Aufgabe zu Aufgabe verschieden ist. Bei diesen Aufgaben handelt es sich auch oft um Mehrgrößen-Regelkreise, bei denen mehrere Regelgrößen gleichzeitig durch mehrere Stellgrößen beeinflußt werden sollen. Ein Turner, der einen Schraubensalto springt, oder ein Flugzeugführer, der eine Kurve fliegt, muß in dieser Weise eingreifen.

In allen drei Schichten gibt es „etwas zu lernen", und wir beginnen im folgenden mit einer Betrachtung der Stabilisierung einer Bewegung (zweite Schicht), um anschließend die Entwicklung von Programmabläufen (dritte Schicht) zu behandeln.

1. *Das „Stabilisieren" einer an sich unstabilen Bewegung*

Wir betrachten einen Vorgang, bei dem der „gelernte Zustand" sich deutlich vom „ungelernten" unterscheiden läßt. Das ist beispielsweise der Fall beim Balancieren eines Stabes mit der Hand: Solange man den Stab noch nicht aufrechterhalten kann, hat man „es" noch nicht gelernt!

Diese Aufgabe ist nicht wesensverschieden von ähnlichen Aufgaben, die in Bild 1 gezeigt sind. An Stelle des zu balancierenden Stockes (Fall A) kann der auf einem Stab sitzende Körper des Artisten selbst treten (Fall B). Der Mensch greift dabei mit mehreren

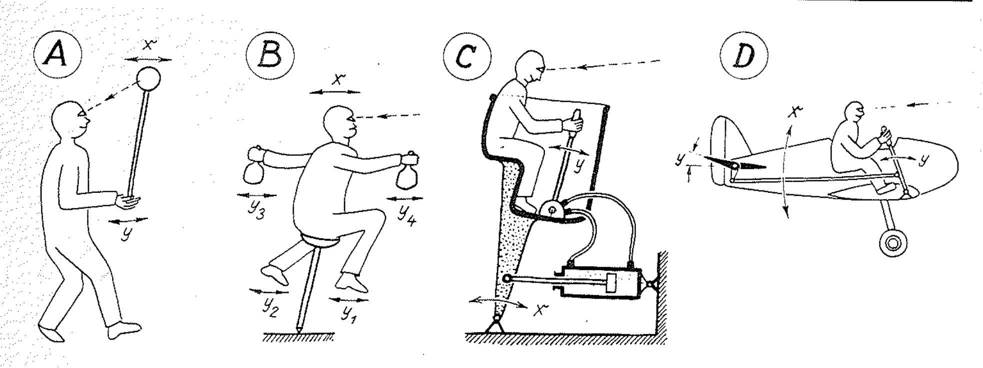


Bild 1: Einige Bewegungsregelkreise, die im Grunde ähnliches Verhalten aufweisen

Stellgrößen (y_1, y_2, y_3 und y_4) ein, indem er seine Gliedmaßen geeignet bewegt. Im Fall C wird dieser Eingriff über einen Steuerknüppel y vorgenommen, der Druckölströme in einen Stellzylinder leitet. Im Fall D verstellt der Steuerknüppel das Ruder eines Flugzeugs und verändert dadurch dessen Längslagewinkel. Der Lagewinkel wird in allen vier Fällen unmittelbar von dem Auge des eingreifenden Menschen erfaßt. Zusätzliche Informationen werden beispielsweise in den Fällen B, C und D durch das „Sitzdruckgefühl" gegeben, das ebenfalls die Schräglage erkennen läßt.

1.1 *„Simulation" als ein Mittel, um weitere Einblicke zu erhalten*

Zur Aufklärung der Zusammenhänge muß man versuchen, die Wirkungen der verschiedenen Größen voneinander loszulösen und jeweils einzeln zu betrachten. Das gelingt mit dem Verfahren der *Simulation*, bei dem in systematischer Weise Teile des wirklichen Systems durch gleichartig wirkende, aber besser durchschaubare Nachbildungen ersetzt werden. Wir gehen beispielsweise von der Anordnung in Bild 1 C aus und ändern diese in Bild 2 a, b und c systematisch ab. In Bild 2 a ist die unmittelbare Sichtbeobachtung des Lagewinkels x durch ein Meßgerät ersetzt, das statt dessen einen Zeigerausschlag $x_A = K \cdot x$ zur Anzeige bringt. Das Übersetzungsverhältnis K kann verändert werden. Auch zusätzliche Informationen, beispielsweise Verzögerungen und Vorhaltbildungen können in den Ausschlag x_A hineingemischt werden. Bei diesen Variationen lassen sich die einzelnen Einflüsse, die im Sichtkanal wirken, in ihrer Bedeutung erkennen.

In der Anordnung nach Bild 2 a wirkt aber neben der Sichtinformation noch das Sitzdruckgefühl als zweite Information, aus der ebenfalls der jeweilige Wert der Regelgröße erkannt werden kann. Diese Information läßt sich ausschalten, indem der Sitz der Versuchsperson festgesetzt wird, so daß allein die Sichtinformation als Zeigerausschlag x_A aufgenommen werden kann, Bild 2b. Jetzt muß aber die Dynamik der Sitzbewegung, die im Fall 2 a durch die zu bewegenden Massen und durch die Ölhydraulik gegeben war, nachgebildet werden. Wir machen das durch eine Rechenanlage, die die Knüppelstellung y als elektrisches Signal aufnimmt und als Folge davon die Instrumentenanzeige x_A ausgibt.

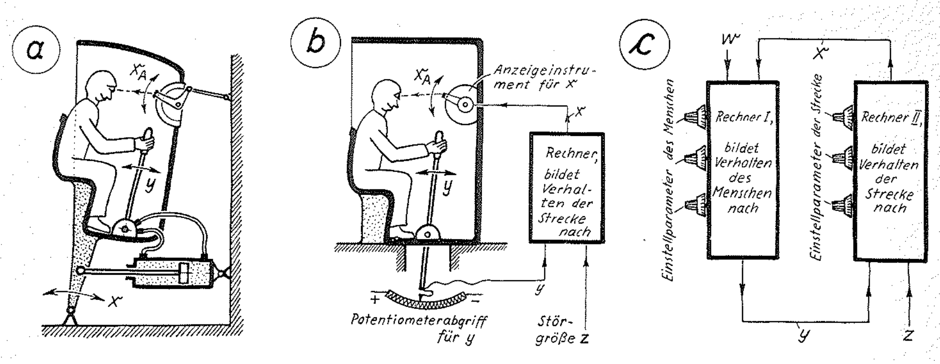


Bild 2: Der Übergang von der wirklichen Anlage zur Simulation

Veränderungen im dynamischen Verhalten, die vorher nur durch umständliche Abänderungen in der Ölhydraulik und Mechanik der Sitzanordnung möglich waren, sind jetzt durch einfaches Umprogrammieren des Rechners zu erledigen. Als dritten Schritt können wir schließlich auch das Verhalten des Menschen durch eine Rechenanlage nachbilden, Bild 2c. Jetzt wirken zwei Rechner aufeinander, die durch die Signalverbindungen x und y miteinander verbunden sind. Beide Rechner werden in Praxis natürlich durch nur einen Rechner dargestellt, der in seinem „Inneren" (also in seiner Programmierung) geeignet aufgeteilt wird.

Wir vergleichen nun das Verhalten der Simulationsanlage (Bild 2c) mit dem Verhalten der wirklichen Anlage (z.B. Bild 1 A, 1 B, 1 D), beispielsweise indem wir den zeitlichen Ablauf der einzelnen Größen x, y usw. in beiden Fällen durch ein Schreibgerät aufschreiben lassen. Ändern wir dann die Struktur und die Parameter der Simulationsanlage solange, bis sich beide Anlagen „gleich" verhalten, dann haben wir das Verhalten der Wirklichkeit modellmäßig getreu nachgebildet. Da wir das Verhalten der Simulationsanlage (der Rechenanlage) nach Struktur und Zahlenwerten der Parameter genau beschreiben können, denn sie ist ja von uns gerade so gebaut worden, können wir damit auch für die „Wirklichkeit" eine mögliche Struktur und Parameter angeben.

1.2 *Wo steckt der Lernvorgang beim Stabilisieren einer Bewegung?*

Einen Stab auf der Spitze zu balancieren (Bild 1 A), das kann man nicht sofort. Man muß es erst „lernen". Was wird dabei gelernt?

Um das aufzuklären, ersetzen wir in Bild 3 den Jongleur und seine Stange durch eine mechanisch-pneumatische Regelanordnung, die ein vergleichbares Verhalten hat. Die Stange besitze an ihrem oberen Ende ein schweres Gewicht. Seine seitliche Auslenkung (von dem Jongleur mit dem Auge beobachtet) sei die Regelgröße x. Sie wurde durch ein Gestänge in den Regler übertragen und verstellt dort zwei Luftausströmdüsen. Dadurch wird Luft zu zwei ziehharmonikaähnlichen Bälgen geleitet, die ähnlich wie die beiden Muskeln des Armes (der „Beuger" und der „Strecker") gegeneinander arbeiten und den unteren Punkt der Stange hin und her bewegen.

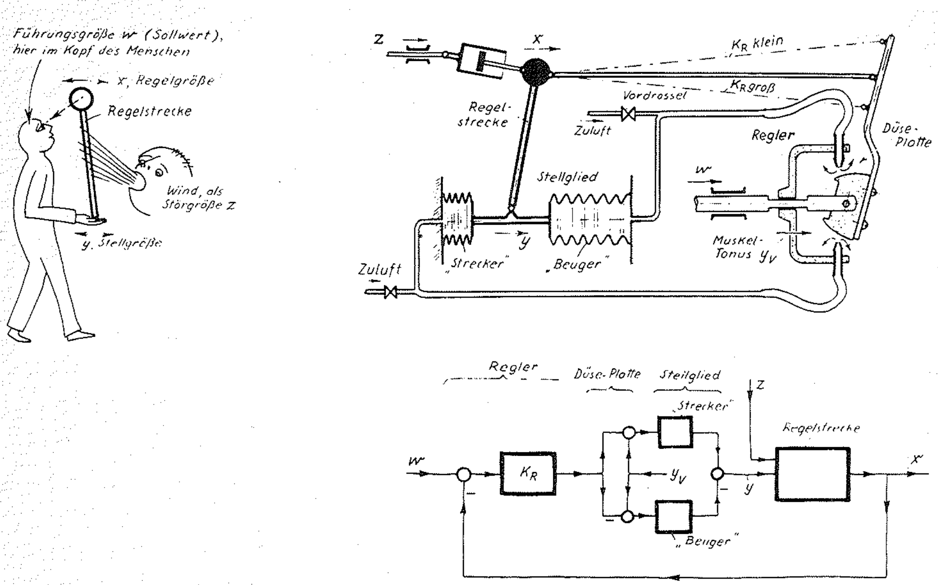


Bild 3: Der Jongleur, ein gerätetechnisch-ähnlicher Regelkreis und das zugehörige Blockschaltbild

Eine solche Anordnung kann „stabil" arbeiten. Das heißt, sie sucht nach einer Auslenkung erneut den alten Zustand auf, in dem sie beharrt. Die Anordnung kann aber auch „instabil" sein. Dann vergrößert sie eine einmal vorhandene Auslenkung oder sie führt aufklingende Schwingungen aus. Ob sich die eine oder die andere Bewegungsform einstellt, hängt von der Bemessung des Reglers ab. Eine dabei entscheidende Größe ist das Übersetzungsverhältnis K_R. Es gibt an, um wieviel die Stellgröße y bei einer Auslenkung x verstellt wird. Das Übersetzungsverhältnis K_R kann leicht verändert werden, beispielsweise indem der Angriffspunkt des Meßgestänges radial verschoben wird (Bild 3). Die Konstante K_R darf nicht zu klein gewählt werden, wenn die stabile Bewegungsform auftreten soll.

Das kann man sich leicht an einer kleinen Nebenrechnung verständlich machen: Die Seitenkraft P, die die Masse M auslenken will, hängt von dem Wegunterschied $(x-y)$ ab. Wenn der Stab die Länge l hat, ist $P = g\frac{M}{l}(x-y)$. Als Gegenkräfte wirken die Trägheitskraft $Mx''(t)$ und die (Luft-) Dämpfungskraft $Rx'(t)$. Der Stab als zu regelnde Anlage, als „Regelstrecke" nach (DIN 19226), folgt somit der Beziehung:

$$(1) \qquad Mx''(t) + Rx'(t) - g\frac{M}{l}x(t) = -y(t).$$

Vernachlässigen wir in dem pneumatisch-mechanischen Regler alle Verzögerungen und nehmen wir elastisch-federndes Balgmaterial an, dann folgt dieser der Gleichung:

$$(2) \qquad y(t) = K_R\, x(t).$$

Die Bewegungsform der gesamten, geregelten Anlage (des „Regelkreises") ergibt sich durch Zusammenfügen beider Gleichungen zu:

$$Mx''(t) + Rx'(t) + [K_R - g\frac{M}{l}]x(t) = 0. \quad (3)$$

Diese Gleichung beschreibt nur dann stabile, abklingende Bewegungen, wenn alle Vorzeichen in ihr gleich sind, wenn also

$$K_R > g\frac{M}{l} \quad (4)$$

ist. Würden wir die inneren Verzögerungen des Reglers berücksichtigen, dann würden wir noch einen zweiten Grenzwert für K_R erhalten. Er läge bei höheren Werten und dürfte nicht überschritten werden, wenn Stabilität vorhanden sein soll. Auf Einführung der Führungsgröße w und der Störgröße z haben wir in obiger Rechnung verzichtet, da sie nicht in die Stabilitätsbetrachtung eingehen.

Wir können jetzt eine Vermutung über den Lernvorgang anstellen. Ob sie für den Menschen stimmt, müßte durch Messungen am „jonglierenden, lernenden Menschen" überprüft werden. Für unsere Geräteanordnung dagegen können wir die Zusammenhänge überschauen:

> Dort stellt sich der Lernvorgang so dar, daß wir einen „falsch" gewählten K_R-Wert solange verbessern, bis die Gleichung (4) erfüllt ist und damit eine stabile Bewegungsform erreicht wird.

Beim Beginn der Versuche wird man „vorsichtig" zu Werk gehen und K_R nicht zu groß wählen. Erst während des „Lernvorgangs" bemerkt man, daß dies bei diesem System gerade falsch war.

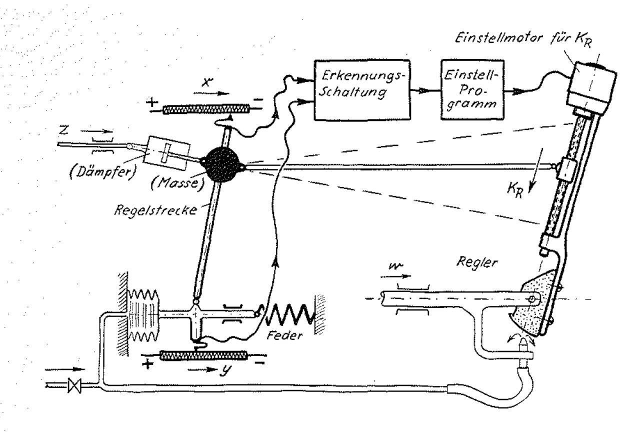
1.3 *Selbsteinstellende („adaptive") Regelvorgänge, aufgefaßt als Lernvorgänge*

Auch der Einstellvorgang für die Größe K_R ist ein Regelvorgang. Als Regelgröße dient dabei jetzt jedoch keine Zustandsgröße, sondern eine „Eigenschaftsgröße", nämlich beispielsweise die Dämpfung der Eigenbewegung des Lageregelkreises.

Wir benötigen als Meßgerät jetzt daher eine Erkennungsschaltung, die die gewünschte Eigenschaft „erkennen" und anzeigen kann. Außerdem benötigen wir einen Einstell-Regler, der in diesen (jetzt im allgemeinen schwieriger zu beherrschenden) Einstellvorgang geeignet eingreift. In vielen Fällen wird dieser Eingriff nach einem vorher festgelegten „Einstell-Programm" erfolgen.

Wir können damit unsere gerätetechnische Anordnung aus Bild 3 geeignet abändern und kommen so zu Bild 4. Dort ist zuerst einmal der Lageregler vereinfacht. Es ist nur ein Membranbalg benutzt. Der zweite ist durch eine Gegenfeder ersetzt, wie es bei industriellen pneumatischen Reglern üblich ist.

Biologische Verstellmechanismen können solche Gegenfedern nicht aufbauen und arbeiten deshalb mit zwei gegeneinander wirkenden Muskeln (Synergisten und Antagonisten), die über Kraftfühler in den Sehnen (Golgi-Organe) und über dehnungsempfindliche Zellpartien in den Muskelspindeln zu internen Regelkreisen zusammengeschaltet sind. In



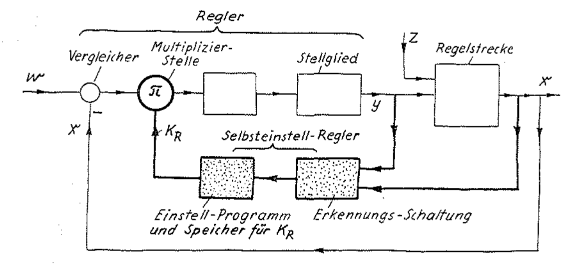


Bild 4: Der Selbsteinstell-Regelkreis (ein „lernendes System") als Ergänzung zum Stabilisier-Regelkreis des Bildes 3

technischen Regelgeräten werden ebenfalls solche internen Rückführungen benutzt, die wir aber zur Erklärung der hier interessierenden Zusammenhänge nicht benötigen und die deshalb in Bild 3 und 4 nicht gesondert eingezeichnet sind.

Die beiden gegeneinander wirkenden Muskeln werden in ihrer Ruhestellung vorgespannt (Muskeltonus). Das ist in Bild 3 durch Verschieben des Düsenträgers gegenüber dem Plattenlager möglich gemacht. Es wird auch in der technischen Ausführung eine solche Vorspannung vorgenommen. In entsprechenden elektrischen Schaltungen, die Gegentakt-Schaltungen heißen, wird sogar je nach der Größe der Vorspannung von A-, B- oder C-Betrieb gesprochen.

In biologischen Systemen ist die Größe des Muskeltonus ein Maß für den Allgemeinzustand des Organismus. Er kann sehr niedrig eingestellt werden, was auch absichtlich durch Entspannungsübungen (beispielsweise Autogenes Training) erreicht werden kann. Er kann auch sehr hohe Werte einnehmen, beispielsweise bei nervösen Fehlhaltungen.

Für eine Betrachtung der Selbsteinstellung des lernfähigen Regelkreises benötigen wir eine so eingehende Zergliederung des Kreises nicht. Das Wesentliche kann bereits an der vereinfachten Anordnung Bild 4 erkannt werden.

Um den technischen Regelkreis in Bild 4 „lernfähig" zu machen, ist eine Einstellmöglichkeit für den Wert der Übertragungskonstanten K_R vorgesehen worden. Der Radius des Angriffspunktes des x-Meßgerätes ist durch eine elektrisch betätigte Spindel verschiebbar gemacht. Weiterhin ist eine Erkennungsschaltung und ein Einstellprogramm vorgesehen. Beide sind nur als Blöcke gezeichnet. Zu beiden gibt es ausführliches Schrifttum, auf das hier verwiesen werden muß; beispielsweise Zypkin 1970, Weber 1971, Rechenberg 1973, Reinisch 1974.

Im obigen Beispiel betrachteten wir den Lernvorgang bereits als abgeschlossen, sobald die Einstellung von K_R das stabile Gebiet erreicht hatte. Wir können die Aufgabenstellung jedoch verfeinern. Denn innerhalb des stabilen Gebietes wird es Werte für K_R geben, bei denen die Stabilität gerade eben erreicht wurde und bei denen die Eigenbewegung des Regelkreises infolgedessen noch verhältnismäßig viele Überschwingungen aufweist. Andere Einstellungen von K_R werden dagegen ein aperiodisches Einschwingen hervorrufen. Man hat deshalb den Einstellbereich von K_R nicht nur in „stabil-" und „instabil-"machende Gebiete eingeteilt, sondern Optimalkriterien entwickelt, die die günstigsten Einstellwerte angeben (vgl. z.B. Weihrich 1973).

Zum Aufsuchen von optimalen Lösungen genügt in vielen Fällen die Veränderung eines Parameters (z.B. K_R) allein aber noch nicht. Es muß die gesamte Struktur des Reglers optimiert werden. Das heißt, es werden zusätzliche Informationskanäle gebildet. Sie ermitteln beispielsweise den Differentialquotienten oder das Zeitintegral des $x(t)$-Verlaufs oder holen die Werte von Hilfsgrößen (in Bild 3 beispielsweise die Drücke der Membrankammern) hinzu.

Wir sehen jetzt auch, daß das, was wir anfangs als „erste Lernschicht" angesehen haben, in unseren bisherigen Überlegungen eingeschlossen sein muß. Lassen wir nämlich den Stab des Jongleurs weg, dann stellen seine Gliedmaßen selbst mit ihrer Masse, Dämpfung und Elastizität die Regelstrecke dar. Diese ist durch dieses Weglassen allerdings gutartiger geworden, denn sie wäre jetzt auch ohne Regelung nicht instabil. Als Aufgabe wäre in diesem Fall also nicht das „Stabilisieren einer instabilen Strecke", sondern nur der Aufbau eines mehr oder weniger guten Einschwingverhaltens der Gliedmaßenbewegung zu lernen. Daß man auch diesen Lernvorgang bis zu ganz verschiedenen Ergebnissen hochtreiben kann, wird jedem klar, der einmal in Zeitlupe die eleganten Bewegungen der Angehörigen eines Naturvolkes beobachten konnte.

2. *Das Lernen von Ablaufprogrammen*

Nachdem man in der ersten Schicht gelernt hatte, mit seinen eigenen Gliedmaßen richtig umzugehen, vermittelte die zweite Schicht den richtigen Gebrauch der Gliedmaßen, um die Eigenbewegung eines nach außen erweiterten Regelkreises zu beherrschen. In beiden Fällen handelte es sich um geeignete Gestaltung der Blöcke, die innerhalb eines Regelkreises aufeinander einwirken. Die Verstellung der Führungsgröße w spielte dabei noch keine wesentliche Rolle.

Das wird beim Betrachten der dritten Schicht anders. Denn hier liegt die Aufgabe im Herausfinden geeigneter Programmabläufe, die die Führungsgröße w ausführen muß, wenn bestimmte Verläufe der Regelgröße x hervorgerufen werden sollen.

Die Verläufe der beiden Größen x und w bleiben dabei nicht mehr in der Nähe eines „Betriebspunktes", sondern durchlaufen große Teile ihrer Wertebereiche. So ist es beispielsweise der Fall bei einem Turner, der eine Riesenwelle am Reck ausführt oder

bei einem Flugzeugführer, der einen Überschlag (Looping) fliegt. Damit ergeben sich eine Reihe von neuen Gesichtspunkten:

a) Das Verhalten der Regelstrecke ist jetzt nicht mehr durch lineare Näherungsgleichungen zu beschreiben, sondern enthält nichtlineare Kennlinien, deren Durchlaufen von der zeitlichen Vorgeschichte abhängig ist.
b) Jeder einzelne Ablauf des Vorgangs (z.B. eine Turnübung) wird nun unter etwas verschiedenen Bedingungen begonnen und während des Ablaufs wirken Störgrößen z ein. Deshalb kann nicht vorhergesehen werden, über welche Teile der Kennlinie gerade dieser Ablauf sich bewegen wird.
c) Das Ablaufprogramm der Führungsgröße darf deshalb nicht „starr" sein, sondern muß während des Ablaufs von Zeitabschnitt zu Zeitabschnitt überprüft und gegebenenfalls abgeändert werden.
d) Es kann nicht ein bestimmter Ablauf als „optimal" festgelegt werden, sondern es können verschiedene Optimalitätskriterien angesetzt werden, z.B. energieoptimal, geschwindigkeitsoptimal, kraftoptimal usw.

2.1 *Ein Blockschaltbild für das Erlernen von Programmabläufen*

Wir haben in Bild 3 und 4 ein mechanisches gerätetechnisches Modell benutzt, um uns die Vorgänge verständlich zu machen. Es ist zweckmäßig, diese Modellvorstellung ganz vom Gerätetechnischen zu lösen und die Symbolsprache des Blockschaltbildes zu benutzen. Auch das ist in den Bildern 3 und 4 bereits geschehen.

Wir wollen versuchen das Blockschaltbild einer Struktur anzugeben, die einen Programmablauf „lernen" könnte. Gegenüber den bisher benutzten Baugliedern müßte diese Struktur zwei neue Bauglieder besitzen, nämlich einen Speicher (der den zeitlichen Ablauf eines Vorganges aufzeichnet) und einen Abtaster (der von Zeitabschnitt zu Zeitabschnitt den Ablauf „überprüft").

Mit diesen Baugliedern wird auch hier ein Regelkreis aufgebaut, Bild 5. Der Lernvorgang wird mit einem primitiven Programm begonnen. Der gewünschte Ablauf ist in einem Speicher festgehalten. Der wirkliche Ablauf wird im zweiten Speicher aufgezeichnet. Eine „Vergleichsschaltung" stellt die Unterschiede fest. Aufgrund einer „Entscheidungsstrategie" wird beim nächsten Ablauf verbessert eingegriffen.

Mit jedem neuen Ablauf verbessert sich das Programm weiter. Bei einem „normalen" Verlauf des Lernvorganges werden die sich einstellenden Verbesserungen von Ablauf zu Ablauf geringer, bis sich ein „Beharrungszustand" ausbildet. Dieser ist normalerweise aber kein „Ruhezustand", sondern auch in ihm ändert sich der Programmablauf von Mal zu Mal noch etwas, ist also jetzt bald etwas besser, bald wieder etwas schlechter. Die Ursache für solche Variationen des „gelernten Zustands" ergibt sich aus der grundsätzlichen Dynamik des Abtast-Regelkreises, der hier infolge der Störgrößeneingriffe sich im allgemeinen nicht vollständig beruhigen kann (siehe z.B. bei Ackermann 1972). Beim lernenden Menschen machen sich an dieser Stelle auch individuelle Unterschiede bemerkbar.

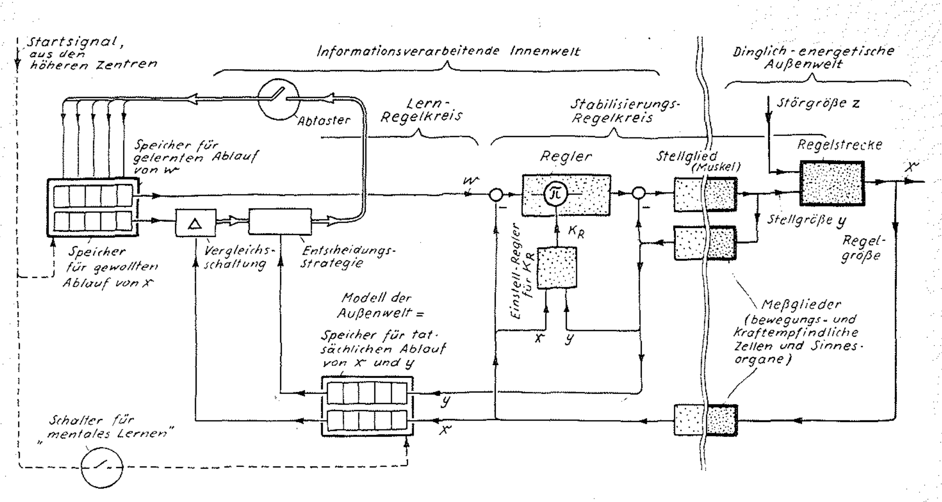


Bild 5: Ein Blockschaltbild zur „dritten Schicht" der Lernvorgänge — der Aufbau von Ablaufprogrammen

Trotz seiner Anspruchslosigkeit gibt dieses einfache Blockschaltbild bereits einen Einblick in wesentliche Zusammenhänge und läßt erkennen, an welchen Stellen weiter untersucht werden müßte. Das Bild trennt zuerst einmal die mechanisch-dingliche Seite der „Außenwelt" von der informationsverarbeitenden „Innenwelt". Letztere ist beim Menschen durch die höheren Zentren (Nerven, Gehirn) gegeben, ist aber auch in technischen Anlagen zumeist klar gegenüber der energieverarbeitenden „Außenwelt" abgrenzbar. Da die Speicher Verhalten und Eigenschaften der Außenwelt wie ein Modell festhalten, kann der Lernvorgang jetzt sogar ohne die Außenwelt vervollkommnet werden. Bei diesem „mentalen Lernen" werden, wie Bild 5 zeigt, trotzdem gewisse Nervenbahnen aktiviert, und dies ist ja auch meßtechnisch festgestellt worden (vgl. z.B. Volpert 1973).

Bild 5 zeigt auch, daß die Programmspeicherung unabhängig von der dinglichen Außenwelt erfolgt. Einmal gelernte Programme müßten deshalb verhältnismäßig leicht auf andere besonders auf ähnlich gelagerte Strecken umgeschaltet, also übertragen werden können. Dies ist auch so, und dieses Problem hat die Lerntheoretiker sehr bewegt (vgl. dazu „Transfer" bei Ungerer 1973).

2.2 *Der Lernvorgang braucht Zeit*

Die Vorgänge, die hier gelernt werden sollen, sind Vorgänge, die sich längs der Zeit abspielen. Der Lernvorgang verlangt eine Wiederholung dieser Abläufe. Er benötigt also in jedem Fall Zeit.

Könnte ein Teil dieser Zeit eingespart werden? Um diese Frage zu beantworten, betrachten wir noch einmal den Einstellvorgang für die Übertragungskonstante K_R, den wir ja bei dem Problem der Stabilisierung bereits als Lernvorgang erkannt hatten.

Dort soll die Erkennungsschaltung die Dämpfung der Eigenbewegung des Regelkreises feststellen. Das ist grundsätzlich nur möglich, indem die Eigenbewegung abläuft, benötigt also nicht-einsparbare Zeit. Dem Erkennungsvorgang sind zweitens Störgrößenänderungen z überlagert. Nutzsignal und Störsignal müssen getrennt werden. Das kann ebenfalls nur erfolgen, indem beide eine gewisse Zeit lang erfaßt werden. Zum dritten aber kann der Einstellvorgang für die Einstellung der Konstanten K_R nicht zu sehr beschleunigt werden, sonst wird dieser (übergelagerte) Einstellregelvorgang selbst instabil. Daraus ergibt sich ein dritter nicht-einsparbarer Zeitanteil.

Das Instabilwerdenkönnen des Einstellregelvorganges, den wir ja als „Lernvorgang" erkannt hatten, äußert sich bei lebenden Wesen als Krankheitszustand. Zu schnelle Anpassung der eigenen Parameter erscheint dabei als neurotische „Haltlosigkeit", zu langsame als neurotische „Lernhemmung" (Volpert 1973).

Ähnliche Gesetzmäßigkeiten finden sich in dem Abtastregelkreis, der die Dynamik des Programmablauflernvorganges in Bild 5 beschreibt. Bei ihm gibt es jedoch eine Möglichkeit zur Verkürzung der Lernzeit:

> Es kann auf früher verbrachte Lernzeit zurückgegriffen werden, deren Ergebnisse in einem „Lehrer" gespeichert sind.

Die Anweisungen eines Lehrers verkürzen deshalb die Anzahl der sonst benötigten Abläufe (Wiederholungen) des zu lernenden Vorganges. Einmal wird dadurch der Lernvorgang bereits bei einer gewissen Höhe begonnen und zum zweiten erfolgt unter Anweisung des Lehrers die Auswertung des jeweiligen Ablaufs sehr viel gezielter, da der Lehrer die Kenntnisse früherer Erfahrung einbringt. Die Fähigkeit, solche früheren Erfahrungen in gewissem Maße mit auszunutzen, vergrößert die menschlichen Möglichkeiten ungemein. Viele Vorgänge geraten schnell an Grenzen, deren Überschreiten tödlich ist. Wir können aber aus den Fehlern anderer lernen: Lilienthals Todessturz hat manchen Flieger vor dem gleichen Schicksal bewart.

Wir haben bislang unter Lernen allein das „Lernen von Bewegungsmustern" betrachtet. Es ist aber anzunehmen, daß dies überhaupt der Ausgangspunkt jeglichen menschlichen Lernens ist, den jeder in seiner Kindheit durchlaufen muß, bevor er in abstrakterer Weise (ohne dingliche Außenwelt) lernen kann (Rubinstein 1940).

Der Zeitmaßstab, der notwendigerweise in jedem Lernvorgang steckt, trifft sich mit dem Zeitmaßstab unseres Bewußtseins. Sehr schnelle Lernvorgänge (wie sie beispielsweise beim Stabilisieren der Gliedmaßenbewegung eines Jongleurs) auftreten, verlaufen im Unterbewußtsein. Vorgänge der Fahrzeugführung (beispielsweise der Flugzeuglandung) erfolgen weitgehend unter Beteiligung des Oberbewußtseins. Sehr langsam ablaufende Vorgänge entziehen sich schließlich auch der Gegenwart des Oberbewußtseins: Aus der „Geschichte" (die wesentlich über die eigene Lebenserwartung hinausgeht) vermag der Mensch nicht zu lernen!

Schrifttum

Ashby, W.R.: Einführung in die Kybernetik. Frankfurt 1974, engl. Original 1956

Ackermann, J.: Abtastregelung. Berlin-Heidelberg-New York 1972

DIN 19226: Regelungstechnik und Steuerungstechnik – Begriffe und Benennungen, Mai 1968. Beuth-Vertrieb, Berlin und Köln

Küpfmüller, K.: Über die Dynamik der selbsttätigen Verstärkungsregler. Elektr. Nachrichtentechnik Bd. 5, 1928, S. 456–467

Linke, F.: Das mechanische Relais, Z-VDI 1879, S. 604–608. Nachdruck im Verlag Schnelle, Quickborn 1970

Rechenberg, I.: Evolutionsstrategie. Stuttgart 1973

Reinisch, K.: Kybernetische Grundlagen und Beschreibung kontinuierlicher Systeme. Berlin (DDR) 1974

Rubinstein, S.L.: Grundlagen der allgemeinen Psychologie, Berlin (DDR) 1968, russ. Original 1940

Sheridan, Th.B. und W.R. Ferell: Man-machine systems. Cambridge (Mass.) und London 1974

Ungerer, D.: Zur Theorie des sensomotorischen Lernens. Schorndorf 1971

Volpert, W.: Sensumotorisches Lernen. Frankfurt 1973

Weber, W.: Adaptive Regelungssysteme, I und II. München und Wien 1971

Weihrich, G.: Optimale Regelung linearer deterministischer Prozesse. München und Wien 1973

Zypkin, Ja.S. Adaption und Lernen in kybernetischen Systemen. München und Wien 1970

Eingegangen am 22. Juli 1975

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr.-Ing. Winfried Oppelt, Institut für Regelungstechnik der Technischen Hochschule Darmstadt, 6100 Darmstadt, Schloßgraben 1

Über Reduktionen in einer Verallgemeinerung von Lánský's BETARO-Automaten

von Ernst-Erich DOBERKAT, Paderborn

aus dem FEoLL-Institut für Bildungsinformatik (Direktor: Prof. Dr. M. Lánský)

In einer Arbeit von Lánský (1972) werden BETARO-Automaten definiert, mit deren Hilfe sich wesentliche Ansätze der Mathematischen Lerntheorie formalisieren lassen (vgl. Koller, 1974). Dieser Ansatz wurde vom Verfasser (Doberkat, 1974) verallgemeinert; hierbei kamen vor allem Hilfsmittel der topologischen Maßtheorie zum Tragen. In der vorliegenden Arbeit sollen Fragen der Input-Reduktion in diesem Modell behandelt werden.

(Da die Themenstellung dieser Arbeit eher Fragestellungen aus der topologischen Maßtheorie und der Automatentheorie als dem Schrifttum der kybernetischen Pädagogik entnommen ist, hat sich der Verfasser dazu entschlossen, die Bezeichnungsweisen der Maßtheorie hier vorrangig vor der der pädagogischen Kybernetik zu gebrauchen).

Zunächst wird eine kurze Übersicht über die verwendeten Begriffe gegeben.

Definition 1

Seien (X,a) und (Y,b) topologische Räume, $K: (X,\sigma(a)) \to (Y,\sigma(b))$ sei ein Markoff-Kern (vgl. Bauer, 1968). K heiße automatisch bezüglich (X,a) und (Y,b) genau dann, wenn

a) $K(x)$ ist straff in Y für alle $x \in X$,

b) die Abbildung $\begin{cases} X \to M(Y,\sigma(b)) \\ x \mapsto K(x) \end{cases}$

ist $a - ba(Y,\sigma(b))$ – stetig.

Hierbei ist z.B. $\sigma(a)$ die von a erzeugte σ-Algebra,

$M(Y,\sigma(b))$ der Raum aller finiten signierten Maße auf $(Y,\sigma(b))$ und

$ba(Y,\sigma(b))$ die (Banachsche) Normtopologie auf $M(Y,\sigma(b))$,

(vgl. hierzu Hewitt und Stromberg, 1965).

Definition 2

Seien (X,a), (Y,b), (Z,c) topologische Räume (Input-, Output-, Zustandsraum), S sei ein automatischer Markoff-Kern bezüglich (X,a) und $(Y \times Z, b\tau c)$, T sei ein automatischer Markoff-Kern bezüglich $(Z \times Y \times X, c\tau b\tau a)$ und $(Y \times Z, b\tau c)$. Dann heißt das Quintupel

$\mathfrak{A} = ((X,a),(Y,b),(Z,c); S,T)$

Automatoid, es soll sequentiell arbeiten.

Interpretation: Sei $D \in \sigma(b\tau c)$.

Im Takt 0 werde x_0 eingegeben, dann gibt $S(x_0)(D)$ an, mit welcher Wahrscheinlichkeit $(y_1,z_1) \in D$, wobei y_1 der Output im Takt 1, z_1 der Zustand im Takt ist. Weiter gibt, falls x_1 im Takt 1 eingegeben wurde, $T(z_1,y_1,x_1)(D)$ die Wahrscheinlichkeit an, mit der $(y_2,z_2) \in D$, etc. S wird daher auch Startkern, T Go-on-Kern genannt.

Die folgende Definition umreißt den Themenkreis der vorliegenden Arbeit:

Definition 3

Seien

$\mathfrak{A} = ((X,a),\ (Y,b),\ (Z,c); S, T)$

$\mathfrak{A} = ((X',a'), (Y,b),\ (Z,c); S', T')$

Automatoide, $\epsilon \geqslant 0$, $x \in X$, $x' \in X'$, dann:

$x \bar{\epsilon} x'$ genau dann, wenn gilt

$\| S(x) - S'(x') \| \leqslant \epsilon$ und $\sup \{ \| T(z,y,x) - T'(z,y,x') \| : z \in Z,\ y \in Y \} \leqslant \epsilon$

(Hierbei ist z.B. $\| S(x) - S'(x') \|$ die Norm des signierten Maßes $S(x) - S'(x') \in M(Y \times Z, \sigma(b\tau c)))$

„$x \bar{\epsilon} x'$" bedeutet also, daß sich die Arbeit von $\mathfrak{A}$ nach dem Input von x nur um höchstens ϵ von der Arbeit von $\mathfrak{A}'$ nach dem Input x' unterscheidet.

Existiert zu jedem $x \in X$ ein $x' \in X'$ mit $x \bar{\epsilon} x'$, so wird das durch $\underset{\epsilon}{\subseteq}$ angedeutet, die Konstruktion eines Automatoids $\mathfrak{A}_\epsilon$ aus einem vorgegebenen $\mathfrak{A}$ mit $\mathfrak{A} \underset{\epsilon}{\subseteq} \mathfrak{A}_\epsilon$ wird als ϵ-Reduktion bezeichnet.

Satz 1:

Ist

$\mathfrak{A} = ((X,a), (Y,b), (Z,c); S, T)$

ein Automatoid, $\epsilon \geqslant 0$ vorgegeben, dann existiert ein Automatoid

$\mathfrak{A}_\epsilon = ((X_\epsilon, a_\epsilon), (Y,b), (Z,c); S^\wedge, T^\wedge)$

mit $\mathfrak{A} \underset{\epsilon}{\subseteq} \mathfrak{A}_\epsilon$ und $\mathfrak{A}_\epsilon \underset{\epsilon}{\subseteq} \mathfrak{A}$.

Beweisskizze: (Einzelheiten vgl. Doberkat (1974), 21, 22)

1. $A(x) := \{x' \in X : \| T(z,y,x) - T(z,y,x') \| \leqslant \epsilon$ für alle $(z,y) \in Z \times Y$ und $\| S(x) - S(x') \| \leqslant \epsilon\}$.

Dann ist $A(x) \subset X$ abgeschlossen.

$X_\epsilon := \{A(x) : x \in X\}$, a_ϵ sei die finale Topologie auf X bezüglich der Abbildung $A : x \mapsto A(x)$.

2. Sei L ein bezüglich (X,a) und (X,a) automatischer Markoff-Kern mit den Eigenschaften:

$L(x)(A(x)) = 1$ für alle $x \in X$ und

$A(x) = A(x')$ impliziert $L(x) = L(x')$.

Für $(z,y,x) \in Z \times Y \times X$, $D \in \sigma(b\tau c)$ wird definiert:

$T^\wedge(z,y,A(x)) := \int T(z,y,t)(D)\, L(x)(dt)$,

$S^\wedge(A(x))(D) := \int S(t)(D)\, L(x)(dt)$.

Dann ist

$\mathfrak{A}(\epsilon, L) := ((X_\epsilon, a_\epsilon), (Y,b), (Z,c); S^\wedge, T^\wedge)$

ein Automatoid mit

$x \bar{\epsilon} A(x)$ für alle $x \in X$.

Daraus folgt die Behauptung, wenn man $\mathfrak{A}_\epsilon := \mathfrak{A}(\epsilon, L)$ setzt.

Im Falle „$\epsilon = 0$" ist $\mathfrak{A}(0,L) = \mathfrak{A}(0,L')$, falls L und L' die im Beweis genannten Bedingungen erfüllen. Statt „$x \bar{0} x'$" wird geschrieben „$x \equiv x'$", statt X_0 $X/\equiv$, statt a_0 $a/\equiv$, $\mathfrak{A}(0,L)$ wird mit $\mathfrak{A}/\equiv$ bezeichnet, $A(x)$ mit $[x]$, da $\equiv$ eine Äquivalenzrelation auf X ist.

Für die weiteren Untersuchungen wird eine Definition benötigt.

Definition 4

Seien

$\mathfrak{A} = ((X,a),\ (Y,b),\ (Z,c); S, T)$,

$\mathfrak{A} = ((X',a'),\ (Y,b),\ (Z,c); S', T')$

Automatoide,

$\varphi : X \to X'$

sei eine stetige Abbildung. φ heißt (starker) Homomorphismus von $\mathfrak{A}$ nach $\mathfrak{A}'$ genau dann, wenn gilt:

$S(x) = S'(\varphi(x))$ und $T(z,y,x) = T'(z,y,\varphi(x))$ für alle $(z,y,x) \in Z \times Y \times X$. Ist φ ein Homomorphismus von $\mathfrak{A}$ nach $\mathfrak{A}'$, so werde das durch $\varphi : \mathfrak{A} \to \mathfrak{A}'$ angedeutet.

Folgerung: Die Gesamtheit der Automatoide mit festem Output- und Zustandsraum bildet zusammen mit den (starken) Homomorphismen als Morphismen eine Kategorie *Aids*. Diese Kategorie, die z.B. Koprodukte, aber keine Produkte besitzt, soll in einer anderen Arbeit untersucht werden.

Es erhebt sich unmittelbar die Frage, ob $\mathfrak{A}(\epsilon, L)$ zu $\mathfrak{A}$ homomorph ist. Allgemein gilt das sicher nicht, wie man sich am Beispiel $\epsilon = 2$ überlegt. Für $\epsilon = 0$ kann die Frage jedoch bejaht werden, da in diesem Falle die kanonische Projektion $\pi : x \mapsto [x]$ ein Homomorphismus ist.

Sei nun $\epsilon > 0$ beliebig, L ein bezüglich (X,a) und (X,a) automatischer Markoff-Kern mit folgenden Eigenschaften:

(1) $L(x)(A(x)) = 1$ für alle $x \in X$,

(2) ($x \equiv x'$ oder $A(x) = A(x')$) impliziert $L(x) = L(x')$,

dabei sei A die Abbildung aus dem Beweis zu Satz 1.

Unter diesen Voraussetzungen generiert L einen Markoff-Kern $L^\wedge$ von $(X/\equiv, \sigma(a/\equiv))$ nach $(X/\equiv, \sigma(a/\equiv))$ mittels

$L^\wedge([x])(B) := \pi(L(x))(B)\ (:= L(x)(\pi^{-1}[B]))$.

$L^\wedge([x])$ ist also das Bildmaß von $L(x)$ unter der kanonischen Projektion, daraus folgt unmittelbar:

- die Abbildung $[x] \to L^\wedge([x])$ $(= (L \circ \pi)(x))$ ist $a/\equiv - ba(Y \times Z, \sigma(b\tau c))$ – stetig (da $a/\equiv$ eine finale Topologie ist, vgl. (Querenburg 1973, 3.19))
- ist $f : X/\equiv \to \mathbb{R}$ $\sigma(a/\equiv)$ – meßbar und beschränkt, so gilt $\int f([t])\, L^\wedge([x])\, (d[t]) = \int \bar{f}(t)\, L(x)(dt)$ mit $\bar{f}(t) := f([t])$,
- $L^\wedge([x])(A([x])) = 1$ für alle $x \in X$, wobei A auf $X/\equiv$ genauso operiere wie auf X (denn es gilt $A(x) = \pi^{-1}[A([x])]$),

– $L^\wedge([x])$ ist straff in $X/\equiv$ für alle $x \in X$
  (da $L(x)$ straff in X ist für alle $x \in X$ und Bilder kompakter Mengen unter π wieder kompakt sind),
– $A([x]) = A([x'])$ impliziert $L^\wedge([x]) = L^\wedge([x'])$
  (da $A([x]) = A([x'])$ äquivalent ist mit $A(x) = A(x')$).

Nach diesen Vorbereitungen läßt sich zeigen:

Satz 2
Sei
$\mathfrak{A} = ((X,a), (Y,b), (Z,c); S, T)$
ein Automatoid, L ein bezüglich (X,a) und (X,a) automatischer Markoff-Kern mit den oben angegebenen Eigenschaften, $L^\wedge$ sei zu L wie oben konstruiert, dann gilt:
$\mathfrak{A}(\epsilon, L)$ ist isomorph zu $\mathfrak{A}/\equiv(\epsilon, L^\wedge)$.

Beweis
1. Sei $k \in X_\epsilon$, also $k = A(x)$ für ein geeignetes $x \in X$. Dann: $\varphi(k) := A([x])$. Dann ist $\varphi: X_\epsilon \to (X/\equiv)_\epsilon$ nach der obigen Bemerkung wohldefiniert und injektiv, außerdem surjektiv, wie man sofort feststellt. Bezeichne ψ die Umkehrabbildung von φ. Dann sind φ und ψ stetig:
Zunächst machen ψ und φ das folgende Diagramm kommutativ

$$X \xrightarrow{\pi} X/\equiv \xrightarrow{A} (X/\equiv)_\epsilon, \quad A: X \to X_\epsilon, \quad \varphi: X_\epsilon \to (X/\equiv)_\epsilon, \quad \psi: (X/\equiv)_\epsilon \to X_\epsilon \quad (=)$$

Da es sich bei den jeweiligen Topologien um Finaltopologien handelt, gilt: φ ist stetig genau dann, wenn $\varphi \circ A$ stetig ist, da aber $\varphi \circ A = A \circ \pi$, folgt die Stetigkeit. Analog: ψ ist stetig genau dann, wenn $\psi \circ A$ stetig ist, das ist wiederum gleichwertig mit $\psi \circ A \circ \pi$ ist stetig, da aber $\psi \circ A \circ \pi = A$, folgt die Stetigkeit von ψ.

2. Bezeichne $S^\wedge$ den Startkern von $\mathfrak{A}(\epsilon, L)$, $S'^\wedge$ den von $\mathfrak{A}/\equiv(\epsilon, L)$, $T^\wedge$ den Go-on-Kern von $\mathfrak{A}(\epsilon, L)$, $T'^\wedge$ den von $\mathfrak{A}/\equiv(\epsilon, L)$. Es muß gezeigt werden
$S'^\wedge \circ \varphi = S^\wedge$, $T'^\wedge(z,y,\cdot) \circ \varphi = T^\wedge(z,y,\cdot)$ für alle $z \in Z$, $y \in Y$,
$S^\wedge \circ \psi = S'^\wedge$, $T^\wedge(z,y,\cdot) \circ \psi = T'^\wedge(z,y,\cdot)$ für alle $z \in Z$, $y \in Y$.
Das aber folgt direkt aus den Gleichungen

$$\begin{aligned} S'^\wedge(A([x]))(D) &= \int S'([t])(D)\, L^\wedge([x])(d[t]) \\ &= \int S(t)(D)\, L(x)(dt) \\ &= \int S^\wedge(A(x))(D), \end{aligned}$$

$T'^\wedge(z,y,A([x]))(D) = T^\wedge(z,y,A(x))(D)$ (völlig analog)
für beliebige $(z,y,x) \in Z \times Y \times X$, $D \in \sigma(b\tau c)$.

Ist $\epsilon > 0$, so ist $\mathfrak{A}(\epsilon, L)$ sicher nicht bis auf Isomorphie eindeutig bestimmt. Das trifft aber für den Fall $\epsilon = 0$ zu.

Satz 3
Seien $\mathfrak{A}$ und $\mathfrak{A}'$ Automatoide mit gleichen Output- und Zustandsräumen derart, daß ein surjektiver Homomorphismus $\varphi: \mathfrak{A} \to \mathfrak{A}'$ existiert mit folgenden Eigenschaften:
(a) $x \equiv \varphi(x)$ für alle $x \in X$,
(b) für je zwei Inputs x' und x'' von $\mathfrak{A}'$ gilt: $x'' \equiv x'$ impliziert $x'' = x'$,
(c) die Topologie auf dem Inputraum von $\mathfrak{A}'$ ist final bezüglich φ und der Topologie des Inputraums von $\mathfrak{A}$.
Dann ist $\mathfrak{A}'$ isomorph zu $\mathfrak{A}/\equiv$.

Beweis
Sei
$\mathfrak{A} = ((X,a), (Y,b), (Z,c); S, T)$ und
$\mathfrak{A}' = ((X',a'), (Y,b), (Z,c); S'', T'')$

Ist $x' \in X'$ vorgegeben, so existiert wegen der Surjektivität von φ ein $x \in X$ mit $x' = \varphi(x)$. Dieses x ist bis auf $\equiv$ eindeutig bestimmt, denn ist $x \in X$ mit $x' = \varphi(x)$, so folgt $x \equiv \varphi(x) = x' = \varphi(x) \equiv x$, also $x \equiv x$. Setze also
$\kappa(x') := [x]$, dann ist wohldefiniert und macht das Diagramm

$$X \xrightarrow{\pi} X/\equiv, \quad \varphi: X \to X', \quad \kappa: X' \to X/\equiv \quad (=)$$

kommutativ. Daraus und aus Eigenschaft (c) folgt die Stetigkeit von κ. Eigenschaft (b) impliziert die Injektivität von κ, da $[x] = \kappa(\varphi(x))$, ist κ surjektiv. κ ist ein Homomorphismus:
Sei $x \in X$, dann gilt:
$S'(\kappa(\varphi(x))) = S'([x]) = S''(\varphi(x))$,
$T'(z,y,\kappa(\varphi(x))) = T'(z,y,[x]) = T''(z,y,\varphi(x))$.

Bezeichne λ die Umkehrabbildung von κ, also

$$\lambda: \begin{cases} X/\equiv \to X' \\ [x] \mapsto \varphi(x) \end{cases}$$

dann sieht man genauso die Stetigkeit und die Homomorphieeigenschaft von λ. Da $\lambda \circ \kappa = 1_X$, und $\kappa \circ \lambda = 1_{X/\equiv}$ gelten, folgt die Behauptung.

Bemerkung: Die Bedingung (c) des Satzes 3 scheint auf den ersten Blick sehr auf die Bedürfnisse des Beweises zugeschnitten zu sein. Tatsächlich gilt aber, daß aus $\mathfrak{A}'$ ist isomorph zu $\mathfrak{A}/\equiv$ die Bedingungen (a) – (c) folgen. Bei den Bedingungen (a) und (b) ist dies evident, (c) sieht man so ein:
Wegen der Isomorphie der beiden Automatoide sind die jeweiligen Inputräume homöomorph; sei nun (E,e) ein topologischer Raum und $g: X' \to E$ eine Abbildung, dann gilt:

g ist a' — e — stetig genau dann, wenn $g \circ \lambda a/\equiv$ — e — stetig ist, also genau dann, wenn $g \circ \varphi a$ — e — stetig ist. Dies ist aber äquivalent damit, daß a' finale Topologie ist (Bezeichnung wie im Beweis).

Lerntheoretische Betrachtungen zum Modell „Automatoid"

Mit Hilfe dieses hier eingeführten Modells ist es möglich, zumindest die Lernarten klassisches Konditionieren, operantes Konditionieren und Kettenbildung algorithmisch zu formalisieren. Dies ist vom Verfasser in zwei anderen Arbeiten getan worden. Hierbei konnte nicht das volle Modell „Automatoid" benutzt werden, sondern es mußten verschiedene Annahmen an das Modell gemacht werden. Es läßt sich leicht zeigen, daß die Modellannahmen sich auf das reduzierte Automatoid fortsetzen, so daß man ohne Einschränkung der Allgemeinheit bei der Formalisierung des Lernens von reduzierten Automatoiden ausgehen kann. Der Fall der ϵ-Reduktion liegt ein wenig anders. Hier sollte bezweckt werden zu zeigen, daß mit Hilfe dieses verallgemeinerten Reduktionsbegriffes, der für die Automatentheorie nach Wissen des Verfassers neu ist, beschrieben werden kann, wie man aus einem Automatoid ein in dieser Arbeit näher beschriebenen Art ähnliches gewinnen kann, wobei der Grad der Ähnlichkeit noch genau vorgegeben wird. Für Lernprozesse folgt daraus, daß man, setzt man den Fall, daß der Lernprozeß mit Hilfe des Automatoid-Begriffs formalisiert wurde, aus diesem Lernprozeß einen in gewissen Grenzen ähnlichen Lernprozeß gewinnen kann, wobei wieder die Grenzen exakt an- und vorgebbar sind.

Schrifttum

Bauer, H.: Wahrscheinlichkeitstheorie und Grundzüge der Maßtheorie. Walter de Gruyter & Co., 1968

Doberkat, E.-E.: Eine Struktur zur Formalisierung von Taxonomien. In: Lehnert (Hrsg.): Fortschritte und Ergebnisse der Unterrichtstechnologie 3; Ehrenwirth-Verlag, 1975

Doberkat, E.-E.: On an automaton-like structure for learning-theory. FEoLL-Institut für Bildungsinformatik, 1974

Hewitt, E. und Stromberg, K.: Real und Abstract Analysis. Springer-Verlag, 1965

Koller, F.: Mathematische Lernmodelle und abstrakte Automaten. FEoLL-Institut für Bildungsinformatik, 1974

Lánský, M.: Automatentheorie und Unterrichtssysteme. In: Benedikt, E. (Hrsg.): Pädagogische Technologie, Wien, 1972

Querenburg, B.v.: Mengentheoretische Topologie, Springer-Verlag, 1973

Eingegangen am

Anschrift des Verfassers: Ernst-Erich Doberkat, FEoLL-Institut für Bildungsinformatik, D-479 Paderborn, Pohlweg 55

Zum Lehrwirksamkeitsvergleich von Bildungsmedien

von Helmar FRANK, Paderborn

aus dem Institut für Kybernetik und dem FEoLL-Institut für Kybernetische Pädagogik, Paderborn (Direktor: Prof. Dr. Helmar Frank)

1. *Problemstellung*

H. Walter (1975) hat — zu Recht — festgestellt, daß unserer Vergleichsuntersuchung der Lehrwirksamkeit verschiedener Bildungsmedien (Frank, 1974. A.1) zumindest eine lückenlose Beweisführung fehlt. Diese soll hier nachgeholt werden, wobei wir die Voraussetzungen hervorzuheben und die Methode zu rechtfertigen suchen.

2. *Argumentation*

Bei allen Lehrwirksamkeitsvergleichen wurde (wie verschieden sie im einzelnen auch abliefen) stets der Kenntnisstand von Adressaten *vor* bzw. *nach* dem Unterricht mittels eines Testes durch eine erreichte Punktezahl z gemessen. Von der erreichten Punktezahl ist *zu erwarten* (d.h. abgesehen von statistischen Streuungen durch zufällig richtige Antworten bzw. Stichprobenzufälle), daß sie monoton mit der *schon bekannten* semantischen Information steigt. Falls eine Zufallskorrektur vorgenommen wurde, kann z zu i_{sem} proportional angesetzt werden (vgl. Weltner, 1966. A.1) — andernfalls ist eine additive Konstante zu berücksichtigen, in welche lediglich die Ratewahrscheinlichkeiten und die erreichbaren Punkte bei den einzelnen Testleistungen, also die vom Lehrziel Z abhängigen Wertungen eingehen (vgl. Frank, 1972. A.4, Gleichung 8). Da also diese Konstante bei zweimaliger Anwendung *desselben* Testes *vor* und *nach* Unterricht bei der Bestimmung des Punktezuwachses herausfällt, kann sie unberücksichtigt bleiben. Der Proportionalitätsfaktor k zwischen z und i_{sem} hängt vom Test T und damit indirekt von Z und vom Lehrstoff L ab. Auch die dem Adressaten zu Beginn einer Lektion bereits bekannte semantische Information i_{sem}^{vor} ist von L und überdies von P (Vorkenntnis!) abhängig; i_{sem} *nach* dem Unterricht (i_{sem}^{nach}) hängt darüber hinaus noch vom Lehrsystem $Q = BM$ und den stochastischen Zusatzeinflüssen S aus der Umwelt ab — eine Abhängigkeit von Z liegt indirekt über B vor. Für den durch Unterricht bewirkten Punktegewinn Δz gilt daher wenigstens als Erwartungswert (d.h. im theoretischen Mittel):

$$(1) \qquad \Delta z = k(T(L,Z)) \cdot (i_{sem}^{nach}(P,L,BM,S,Z) - i_{sem}^{vor}(P,L)) = k(T(L,Z)) \cdot W(P,L,BM,S,Z),$$

wobei W die didaktische Transinformation (Weltnerinformation) bezeichnet. Diese ist (für nicht zu große Zeiten t) proportional zur (P-abhängigen) maximalen Lerngeschwindigkeit der Adressaten und zur Lernzeit t, die ihrerseits außer vom Lehrsystem BM

mindestens bei zeitanpassenden Lehrsystemen auch noch von der Psychostruktur P der Adressaten, von deren Ablenkung durch S und von ihrem Interesse für L abhängt. Der Proportionalitätsfaktor η in

(2) $$W(P,L,BM,S,Z) = C_V(P) \cdot t(BM,L,P,S,Z) \cdot \eta$$

ist der absolute Wirkungsgrad des Unterrichts, der in Bild 3 der diskutierten Originalarbeit nur als Funktion von BM erschien; mit Sicherheit kommt jedoch beim einzelnen Adressaten noch eine Abhängigkeit von seinem Interesse für L und seiner Ablenkbarkeit durch S zumindest bei *nicht* zeitanpassenden Medien hinzu, so daß zunächst angesetzt werden muß:

(3) $$\eta = \eta(BM,P,S,Z,L).$$

Beim Vergleich zweier Lehrsysteme Q_1 und Q_2 bemühten sich alle von uns zitierten Experimentatoren, T, L und Z *konstant* zu halten. Hinsichtlich P und S wurde eine *Gleichartigkeit* angestrebt, so daß auch diese Größen als konstant (im Sinne einer nicht systematischen, sondern zufälligen, wahrscheinlich geringfügigen Verschiedenheit) behandelt werden konnten. Eine gewisse Stetigkeit der Funktion C_V, t und η (d.h. eine nicht „allzu sprunghafte" Änderung der Funktionswerte bei geringfügiger Änderung der Variablen P,S,L und Z) ist – sofern empirische unterrichtswissenschaftliche Forschung überhaupt sinnvoll ist – vorauszusetzen. Dann sagen wir, Q_1 sei wenigstens in einer gewissen Umgebung des Lehrumstands $U = PSLZ$ genau dann „besser" im Sinne höherer Lehrwirksamkeit als Q_2, wenn dort

(4a) $$\Delta z_1 > \Delta z_2$$

also

(4b) $$\frac{\Delta z_1}{\Delta z_2} > 1$$

gilt, d.h. nach Einsetzung aus (1-3) und Kürzung um die (wenigstens näherungsweise) übereinstimmenden Faktoren in Zähler und Nenner:

(5) $$\frac{t(B_1M_1, L,P,S,Z) \cdot \eta(B_1M_1, L,P,S,Z)}{t(B_2M_2, L,P,S,Z) \cdot \eta(B_2M_2, L,P,S,Z)} > 1$$

Von hier aus macht es keine theoretischen Schwierigkeiten, den Sinn der Aussage zu definieren, M_1 sei zumindest an der Stelle $U = PSLZ$ lehrwirksamer als M_2: dies gilt genau dann, wenn gilt

(6) $$\max_{\{B\}} \Delta z_1 > \max_{\{B\}} \Delta z_2$$

(Entsprechend kann man den Sinn der Behauptung definieren, bei konstantem U und konstantem M – z.B. Fernsehen – sei eine Betriebsart dieses Mediums, d.h. eine Klasse von Bildungsalgorithmen – z.B. PI-ähnliche Bildungsfernsehprogramme – lehrwirksamer als eine andere, z.B. lehrwirksamer als konventionelles Bildungsfernsehen.)

Nun sei $\hat{B}_1$ bzw. $\hat{B}_2$ ein die linke bzw. die rechte Seite von (6) optimierender Bildungsalgorithmus. Zweifellos haben die Experimentatoren versucht, die paarweisen Vergleiche je durch ein solches $\hat{B}_i$ vorzunehmen, also jeweils *optimal* zu programmieren. Solange ein Anhaltspunkt fehlt, weswegen ihnen dies beim Medium M_1 bis zu einem systematisch *anderen* Prozentsatz q geglückt sein soll als beim Medium M_2, können wir erwarten, q sei konstant, d.h. für das *gemessene* Lehrwirksamkeitsverhältnis gelte:

(7) $$\frac{w_1}{w_2} =_{\mathrm{Df}} \frac{\Delta z_1}{\Delta z_2} = \frac{q \cdot \hat{W}(P,L,M_1,S,Z)}{q \cdot \hat{W}(P,L,M_2,S,Z)} =_{\mathrm{Df}} \frac{\hat{W}_U(M_1)}{\hat{W}_U(M_2)}$$

wobei wir abkürzend schrieben

(8) $$\hat{W}(P,L,M_i,S,Z) =_{\mathrm{Df}} \max_{\{B_i\}} W(P,L,B_i,M_i,S,Z).$$

Wenn für einen Lehrumstand U das Lehrwirksamkeitsverhältnis nach (7) größer ist als 1, dann schließt dies nicht aus, daß für einen genügend stark abweichenden Lehrumstand U^* dieses Verhältnis kleiner werden kann als 1. Das zwingt zu der folgenden Begriffsbildung:

$\mathfrak{M}$ sei die Menge aller Vergleichsmedien (einschließlich der verschiedenen Betriebsarten desselben Mediums – bei uns des Fernsehens). Dann heißt ein Bereich $\mathfrak{U}^b$ des Raums der Lehrumstände (oder allgemeiner: eine Punktmenge dieses Raumes) *homogen* bezüglich $\mathfrak{M}$, wenn für alle $U_{1;2} \in \mathfrak{U}^b$ und alle $M_i \in \mathfrak{M}$ gilt:

(9) $$\hat{W}_{U_1}(M_i) \approx \hat{W}_{U_2}(M_i)$$

– d.h., wenn die didaktische Transinformation *innerhalb* $\mathfrak{U}^b$ fast nur noch vom Medium (bzw. dessen Betriebsart) abhängt.

Wenn man sich nicht auf Einzeladressaten bezieht, sondern auf *Klassen* von Schülern, die *nicht* Sonderschüler sind (wenn also über zufällige Streuungen von P gemittelt werden kann), ferner auf Lehrstoffe und Lehrziele, die zum Typ der Fakten und Verfahren im mathematisch-naturwissenschaftlich-kybernetisch-technischen Lehrstoffbereich gehören und schließlich auf von P, L und Z stochastisch unabhängige Soziostruktureinflüsse, dann ist kein zwingender Grund ersichtlich, die Homogenität des so umschriebenen Bereichs von Lehrumständen zu bezweifeln.

Nun liege vom Experimentator A ein Meßwert für ein Wirksamkeitsverhältnis $w_1 : w_2 > 1$ beim Lehrumstand $U_1 \in \mathfrak{U}^b$ vor, vom Experimentator B ein Meßwert $w_2 : w_3 > 1$ an der Stelle $U_2 \in \mathfrak{U}^b$. Das Kernproblem lautet: besteht Transitivität der durch (4a, b) definierten Güterelation, d.h. kann geschlossen werden, daß (*wenigstens* in $\mathfrak{U}^b$!) allgemein auch $w_1 : w_3 > 1$ gilt?

Nach Gleichung (7) erhält man mit (9):

$$(10)\quad \frac{w_1(U_1)}{w_2(U_1)} \cdot \frac{w_2(U_2)}{w_3(U_2)} = \frac{\hat{W}_{U_1}(M_1)}{\hat{W}_{U_1}(M_2)} \cdot \frac{\hat{W}_{U_2}(M_2)}{\hat{W}_{U_2}(M_3)}$$

$$\approx \frac{\hat{W}_{U_1}(M_1)}{\hat{W}_{U_2}(M_3)} \approx \frac{\hat{W}_{U_i}(M_1)}{\hat{W}_{U_i}(M_3)} =_{\text{Df}} \frac{w_1(U_i)}{w_3(U_i)}$$

für $i = 1;2$, so daß also im ganzen homogenen Lehrumstandsbereich nicht nur eine *Transitivität* der Güter*relation* zu erwarten ist, sondern darüber hinaus sogar die wenigstens näherungsweise *quantitative Berechenbarkeit* des Lehrwirksamkeitsverhältnisses zwischen M_1 und M_3 durch Multiplikation der beiden für *verschiedene* Lehrumstände empirisch ermittelten Verhältnisse – so wie es für die Entwicklung der Gesamtdarstellung in Bild 2 des diskutierten Beitrages (Frank, 1974. A.1) geschah. –
Hinsichtlich des entsprechenden Rechnungsganges bei der Ermittlung von η ist ähnlich zu schließen. –

3. *Kritische Diskussion der Argumentation*

Gegen die gesamte Schlußkette sind noch zwei tiefergehende, methodische Einwände zu diskutieren:

(1) Innerhalb von $\mathfrak{U}^b$ wurden für jedes Medienpaar in der Regel nur wenige Messungen durchgeführt, wenn auch mit hinreichend großen Klassen, was aber nur Streuungen der Variablen P ausgleicht.

(2) Es mußte eine Stetigkeit, ja sogar eine hinreichend geringe Veränderlichkeit verschiedener Funktionen in $\mathfrak{U}^b$ vorausgesetzt werden.

Wer voraussetzt, Stetigkeit existiere bei den unterrichtswissenschaftlich relevanten Funktionen auch nicht stückweise, der unterstellt, quantitative, empirische Unterrichtswissenschaft sei überhaupt sinnlos. Da nämlich der *gleiche* Unterricht in der Praxis kein zweites Mal stattfindet, lohnen sich quantitative Erhebungen über ihn nur dann, wenn sie wenigstens näherungsweise auf einen künftigen, *ähnlichen* Unterricht übertragbar sind, wenn also Stetigkeit besteht.
Wer Stetigkeit zwar einräumt, jedoch wegen der zu geringen Zahl von Meßdaten jede Folgerung aus diesen zurückweist, der verkennt, daß die Information *allmählich* mit der Zahl der Meßdaten steigt, daß also auch schon ganz *wenigen* empirischen Daten *etwas* Information zu entnehmen ist, und daß diese als Entscheidungsbasis für die *Praxis* besser ist als überhaupt keine Information. Wer beispielsweise aus einem Sack mit einer ungeraden Anzahl weißer und schwarzer Kugeln bei unbekanntem Mischungsverhältnis nur ein einziges Mal eine Kugel als Zufallsstichprobe entnehmen darf und gezwungen ist, eine Entscheidung auf die Vermutung über die *häufigere* Kugelfarbe aufzubauen, der wird zu Recht unterstellen, die (wenn auch nur einmal) beobachtete Farbe sei die häufigere – wie viele Kugeln der Sack auch immer enthalten mag! Eine hinreichende Vergrößerung der Stichprobe macht eine solche Hypothese nicht plötzlich qualitativ erst *möglich*, vielmehr erhöht sie nur quantitativ ihre *Sicherheit*.

Was im diskutierten Beitrag fehlt (und dort auch am Schluß von Abschnitt 3.5 selbst als Mangel herausgestellt wurde!), *ist lediglich eine Abschätzung der Unsicherheitsbereiche um die ermittelten relativen Wirksamkeitswerte.*

Für die Praxis oft unzureichend ist die übliche Flucht aus der metrischen Problematik in bloß topologische Signifikanzaussagen: bei der praktischen Unterrichtsplanung muß häufig mit einem bestimmten Wert einer Variablen (z.B. einer erforderlichen Arbeitszeit) gerechnet werden, während die Aussage, dieser Wert sei auf dem 5%-Niveau signifikant höher als ein bestimmter anderer, eher theoretisch interessant ist. –

Ein Vergleich mit einer anderen empirischen Disziplin mit ebenfalls schwer idealisierbaren Gegenständen möge abschließend belegen, daß die von uns angewandte Methode sich in anderen Wissenschaftsbereichen für Prognosen im Dienste praktischer Entscheidungen bewährt hat (was nicht ausschließt, daß auch dort Verfeinerungen durch weitere Messungen zur Erhöhung der Prognosesicherheit betrieben werden!):

Die als Lias α bekannte geologische Formation besteht aus dem Angulatensandstein und dem jüngeren und daher in der Regel darüberliegenden Arietenkalk. Ein Geologe A hat an der Stelle U_1 eine Bohrung durchgeführt und als Mächtigkeit des Angulatensandsteins (Höhenzuwachs der oberen gegenüber der unteren Schichtgrenze) 8 m festgestellt. Ein Geologe B hat an der anderen Stelle U_2 innerhalb desselben, als *homogen* angesehenen geographischen Bereichs $\mathfrak{U}$ (z.B. der Schwäbischen Alb) durch eine andere Bohrung als Mächtigkeit des Arietenkalks 5 m gemessen. Solange keine andere Information vorliegt, wird kein Geologe zögern, als *wahrscheinlichste* Gesamtmächtigkeit des Lias α wenigstens in jenem Bereich $\mathfrak{U}$ 8 m + 5 m = 13 m zu errechnen. Ersetzt man Differenz- bzw. Summenbildung durch Division bzw. Multiplikation, dann gewinnt dieses Analogon die in Gleichung (10) entwickelte Struktur. –

Schrifttum *)

Frank, H. (1972. A.4): Vom Testen zum Prüfen. In: O. Hertkorn (Red.): Prüfungsobjektivierung. Schöningh/Schroedel, 1972, Seite 7–43. (Nachgedruckt in: Meder/Schmid (Hrsg.), Kybernetische Pädagogik, Band 1, Seite 651–687)

Frank, H. (1974. A.1): Vergleichende Wertungen verschiedener Bildungsmedien und Didaktiken. In: Grundlagenstudien aus Kybernetik und Geisteswissenschaft, Band 15, Heft 1, 1974, Seite 1–12

Walter, H. (1975. C.1): Zur Problematik einer vergleichenden Wertung verschiedener Bildungsmedien. Vortrag beim 6. kybernetisch-pädagogischen Werkstattgespräch der GPI-Arbeitsgruppe Kybernetik, in: E. Pietsch, Bericht über das 6. Werkstattgespräch der Arbeitsgruppe Kybernetik der GPI vom 10.–12.1.1975 in Berlin, FEoLL, Paderborn, 1975, Seite 17–34

Weltner, K. (1966. A.1): Der Shannon'sche Ratetest in der Praxis der Programmierten Instruktion. In: H. Frank (Hrsg.): Lehrmaschinen in kybernetischer und pädagogischer Sicht, Band 4, Klett/Oldenbourg, 1966, Seite 40–53

*) Dieser Beitrag ist eine Überarbeitung eines Vortrags des Verfassers beim 6. kybernetisch-pädagogischen Werkstattgespräch der GPI-Arbeitsgruppe Kybernetik in Berlin am 10.1.1975. Ein Vorabdruck erschien in dem von E. Pietsch zusammengestellten Tagungsbericht (FEoLL-Arbeitspapier, Paderborn, Februar 1975).

Eingegangen am 18. Juli 1975

Anschrift des Verfassers: Prof. Dr. Helmar Frank, 479 Paderborn, Brockhöfe 2

Voraussetzungen für einen übergreifenden Medienvergleich – eine kritische Stellungnahme zum modelltheoretischen Ansatz von H. Frank

von Hellmuth WALTER, München
aus der Erziehungswissenschaftlichen Fakultät der Universität München

1. *Das Problem*

Obwohl aus der Sicht der Unterrichtswissenschaft der Versuch von Frank (1974, 1975), ein Modell für eine übergreifende Zusammenschau verschiedener Vergleiche von Bildungsmedien zur Verfügung zu stellen, angesichts der i.a. konzeptionslos nebeneinander stehenden einschlägigen unterrichtswissenschaftlichen Befunde begrüßt werden muß, meinen wir, einige grundsätzliche Bedenken anmelden zu müssen. Die folgende kritische Stellungnahme versucht nicht, die Kalkülisierung von Frank als solche in Frage zu stellen, diese ist zweifellos in sich schlüssig und umfaßt alle wesentlichen Variablen. Uns geht es vielmehr darum, einige in das Modell eingehende *Voraussetzungen*, welche für die Gültigkeit der aus ihm gezogenen *inhaltlichen* Schlußfolgerungen von zentraler Bedeutung sind, zu problematisieren. Dahinter steht die Intention, vor einer voreiligen Anwendung zu warnen bzw. die im Falle einer Anwendung des Modells einbezogenen Untersuchungen auf ihre *Stimmigkeit* hinsichtlich der in das Modell eingehenden Voraussetzungen sorgfältig zu prüfen.

2. *Die Annahme der relativen Konstanz von T*

Die Anwendung des Modells setzt eine „hinlängliche" Konstanz der Variablen T (Test) voraus (Frank, 1975, S. 36). Im Rahmen methodenkritischer Analysen unterrichtswissenschaftlicher Ansätze konnte nun aber wiederholt nachgewiesen werden, daß in einer Vielzahl von Vergleichsuntersuchungen der zur Anwendung gelangte Test eines der beiden verglichenen Medien signifikant begünstigt (vgl. Lumsdaine, 1965, Walter, 1975). Dies führt bezüglich des in das Modell eingehenden Lehrwirksamkeitsverhältnisses $w_1 : w_2$ zu einer *systematischen* Verzerrung. Im Rahmen der Anwendung des Modells kann dem durch eine relativ große Zahl *pro Paarvergleich* einbezogener Untersuchungen entgegengewirkt werden, was allerdings die Annahme einer *unsystematischen* Störvarianz über ein großes N voraussetzt.

3. *Die Annahme der Stetigkeit von C_V, t und η*

Eine „gewisse Stetigkeit" der hier diskutierten Variablen *innerhalb* von Vergleichsuntersuchungen kann angenommen werden. Unklar bleibt allerdings, unter welchen Voraussetzungen bei Einbezug *mehrerer* Vergleichsuntersuchungen angenommen werden darf, daß die Variablen P, S, L und Z *nicht* zu einer signifikanten („sprunghaften") Veränderung von C_V, t und η führen (η: absoluter Wirkungsgrad des Unterrichts). Dies gilt vorzüglich für die Variable P und für auf S und (vor allem!) L zurückgehende Wechselwirkungseffekte

(vgl. Walter, 1974). Eine signifikante Veränderung vorausgesetzt, wären ebenfalls (1) das Lehrwirksamkeitsverhältnis betroffen und (2) Schlußfolgerungen der Art, „wenn $w_1 > w_2$ und $w_2 > w_3$, dann ist (unter Zugrundelegung einer multiplikativen Verbindung) $w_1 > w_3$", unmittelbar davon tangiert. Um dieser möglichen Fehlerquelle zu begegnen, sollte der Homogenitätsbereich von L und P weit enger definiert werden, als dies bei Frank (1975, S. 38) intendiert ist.

4. *Die Annahme „optimierender Bildungsalgorithmen" (1975, S. 37)*

Frank geht davon aus, daß bei Paarvergleichen auf jeder Gleichungsseite ein „optimierender Bildungsalgorithmus" angenommen werden könne, da die Experimentatoren zweifellos versucht haben, jeweils optimal zu programmieren. M_1 ist an der Stelle $U = PSLZ$ lehrwirksamer, wenn gilt:

$$\max_{\{B\}} \Delta z_1 > \max_{\{B\}} \Delta z_2$$

„Solange ein Anhaltspunkt fehlt, weswegen ihnen (den Experimentatoren; d.Verf.) dies beim Medium M_1 bis zu einem systematisch *anderen* Prozentsatz q geglückt sein soll als beim Medium M_2, können wir erwarten, q sei konstant" (Frank, 1975, S. 37). Ohne hier der Frage nachgehen zu wollen, anhand welcher Kriterien festgestellt werden soll, ob ein „systematisch anderer Prozentsatz q" vorliegt, muß festgehalten werden, daß hier ein ungelöstes Kernproblem von experimentellen Medienvergleichen bezüglich des Kriteriums „Lehrwirksamkeit" vorliegt (vgl. Walter, 1973, Eigen, 1967). Aufgrund des Fehlens bewährter medienspezifischer Theorien optimaler Algorithmierung kann gegenwärtig streng genommen nie der wissenschaftlich verbindliche Nachweis geführt werden, daß die seitens der Experimentatoren vorgenommenen „Optimierungsversuche" überhaupt und vor allem für die je verglichenen Medien *gleichermaßen* gelungen sind. Je nach Zugehörigkeit zu lernpsychologischen und didaktischen Schulen wird dies von Fall zu Fall vorsichtig bejaht oder nachdrücklich verneint werden. Wenn überhaupt, so kann bestensfalls von der Annahme ausgegangen werden, daß q *innerhalb* von Vergleichsuntersuchungen nur *zufällig* und *unsystematisch* variiert (nachprüfbar anhand verbindlicher Kriterien ist dies nicht!) und eine *mittlere* Qualität der verglichenen Bildungsalgorithmen erreicht worden ist. Ersteres verbietet sich angesichts der Situation der Unterrichtswissenschaft aus inhaltlichen *und* methodischen Gründen, letzteres könnte zu der in den USA zunehmend verbreiteten Ansicht führen, man solle zunächst die Medien und die durch sie vermittelten Algorithmen optimieren und sich erst danach wieder (übergreifenden) Vergleichsuntersuchungen zuwenden.

5. *Die Annahme eines homogenen Bereichs $\mathfrak{U}^b$ bezüglich $\mathfrak{M}$*

Die letzten Ausführungen führen unmittelbar zu einem weiteren zentralen Punkt unserer Kritik. Frank geht davon aus, daß das Lehrwirksamkeitsverhältnis $w_1 : w_2 > 1$ für einen Lehrstand U im Falle von U^* genau umgekehrt sein könne (1975, S. 38). In seinem Modell berücksichtigt er dies, indem er einen Bereich $\mathfrak{U}^b$ des Raumes der Lehrumstände ansetzt, in dem diese homogen bezüglich $\mathfrak{M}$ (Menge aller Vergleichsmedien) seien. Nur: gibt es heute Kriterien, welche auch nur annäherungsweise zuverlässige Aussagen

darüber erlauben, unter welchen Umständen die didaktische Transinformation innerhalb $\mathfrak{U}$ fast nur noch vom Medium abhängt? Innerhalb der Unterrichtswissenschaft wird diese Frage zum gegenwärtigen Zeitpunkt praktisch durchgängig verneint. Wie soll $\mathfrak{U}$ definiert werden? In jedem Fall scheint hier der Ansatz von Frank, daß im Falle des Ausschlusses von Sonderschülern, „der Beschränkung auf Lehrstoffe und Lehrziele, die zum Typ der Fakten und Verfahren im mathematisch-naturwissenschaftlichen-kybernetischen-technischen Lehrstoffbereich gehören ... und schließlich auf von P, L und Z stochastisch unabhängigen Soziostruktureinflüsse" (1975, S. 38) die Homogenität des so umschriebenen Bereichs gewährleistet sei –, viel zu weit angesetzt zu sein. Die Vielzahl bezüglich des Verhältnisses von $w_1 : w_2$ *widersprüchlicher* unterrichtswissenschaftlicher Befunde (vgl. Walter, 1973) sowie das in der statistischen Literatur häufig diskutierte Problem des oft extrem hohen Anteils der *Wechselwirkungsvarianz* an Versuchsergebnissen sprechen hier eine eindeutige Sprache. Was Frank in seinem Modell schlicht definiert, gehört zum ungelösten Kernproblem der Unterrichtswissenschaft im Umkreis der Diskussion der *externen* und *differentiellen Validität* von Untersuchungen (vgl. Gage, 1965).

6. *Abschließende Bemerkungen*

Im Grunde genommen verdient nicht das in sich schlüssige und differenzierte Modell von Frank Kritik, sondern die unbefriedigende, stellenweise desolate Situation der Unterrichtswissenschaft. Nur – ein Modell ist nur im *Zusammenhang mit der Qualität der in es eingehenden Maßzahlen* zu diskutieren und die in ihm getroffenen Annahmen müssen stimmig auf das empirische Material zu beziehen sein. Trotzdem scheint uns der Ansatz von Frank unter drei Voraussetzungen brauchbar zu sein:

a) Der von Frank ursprünglich angesetzte Anwendungsbereich muß im Hinblick auf die Homogenitätsproblematik radikal eingeengt werden.
b) Pro Paarvergleich sollten möglichst viele Untersuchungen einbezogen werden, da so eine Schätzung der jeweiligen Populationsparameter μ und δ möglich wird.
c) Die Unterrichtswissenschaft sollte zukünftig auf das Modell hinsichtlich der dort formulierten Voraussetzungen zuarbeiten. Dies würde die Erfüllung der Forderung von (b) erleichtern.

Schrifttum

Eigen, L.D.: Probleme der Forschung im Bereich des Programmierten Unterrichts, Weinheim 1967
Frank, H.: Vergleichende Wertungen verschiedener Bildungsmedien und Didaktiken. In: GrKG 15/1, 1974, S. 1-12
Frank, H.: Zum Lehrwirksamkeitsvergleich von Bildungsmedien. In: Bericht über das 6. Werkstattgespräch der Arbeitsgruppe Kybernetik der GPI, Berlin-Paderborn 1975 Nachdruck in GrKG 16/3, S. 83-87
Gage, N.L.: Handbook of Research von Teaching. New York 1965
Lumsdaine, A.A.: Assesing the effectiveness of instructional programms. New York 1965
Walter, H': Lehrstrategie und Lehreffektivität. München-Basel 1973
Walter, H.: Zur Problematik einer adressatenspezifischen Programmkunstruktion durch ein erweitertes Psychostrukturmodell. In: GrKG 15/2, 1974, S. 33-44

Eingegangen am 25. April 1975

Anschrift des Verfassers: Dr. Hellmuth Walter, 8 München 60, Am Stadtpark 20

Messungen der Apperzeptionsgeschwindigkeit auf dem Absolutskalenniveau

Eine experimentelle Untersuchung

von Siegfried LEHRL, Hellmut ERZIGKEIT und Volker J. GALSTER, Erlangen
aus der Universitäts-Nervenklinik Erlangen (Direktor: Prof. Dr. H.H. Wieck)
Einheit für Medizinische Psychologie und Psychopathometrie (Leiter: Dipl.-Psych. Dr. W. Kinzel)

I. *Einleitung*

Wie an anderen Stellen ausgeführt (Lehrl, 1974; 1975), erfordert die empirische Gültigkeitsüberprüfung des Kurzspeicherkonzeptes nach Frank (1960a; 1960b; 1969; 1971), daß seine drei konstituierenden Variablen „Kurzspeicherkapazität K", „Zuflußkapazität zum Bewußtsein C_K" und „Gegenwartsdauer T" auf dem Absolutskalenniveau gemessen werden können. Diese Erfordernis wird zum einen durch die postulierte empirische Äquivalenz zwischen K auf der einen Seite und C_K und T auf der anderen nahegelegt, was sich formal in der Gleichung des Kurzspeichermodells ausdrückt: $K = C_K \cdot T$ (z.B. in: Frank, 1971). Zum anderen sind empirische Validierungsversuche nur dann erfolgversprechend, wenn die Operationalisierungen der als individuelle Personenparameter auffaßbaren Größen $\mathfrak{K}$, $\mathfrak{C}_{\mathfrak{K}}$ und $\mathfrak{T}$ auch auf dem Absolutskalenniveau liegen, da in diesem Fall die Meßergebnisse verschiedener Operationalisierungen des gleichen Parameters – von Meßfehlern abgesehen – gleich sind.

Wegen des mit empirischen Validitätsuntersuchungen verbundenen großen Aufwandes, werden wir uns hier erst einmal auf eine Variable des Kurzspeichers beschränken. Wir haben uns für die Zuflußkapazität C_K entschieden.

1. *Bedeutung der Apperzeptionsgeschwindigkeit*

Von Biologen (von Baer, 1962; von Uexküll, 1928 u.a.), Psychologen (Rohracher, 1960; Erismann, 1958, 1959; Hofstätter, 1957 u.a.) und Informationswissenschaftlern (Frank, 1960a, 1960b, 1969, 1971; von Cube, 1972; Promm, 1970 u.a.) wurde das Konzept des Psychischen Moments oder Subjektiven Zeitquants (SZQ) erarbeitet und verbreitet. Das SZQ ist die Zeitdauer, in der ein bit Information vergegenwärtigt wird. Die Zuflußkapazität C_K zum menschlichen Bewußtsein beträgt nach empirischen Untersuchungsergebnissen pro Sekunde etwa 16 bit Information (= 16 SZQ/sec) (Frank, 1960a, 1960b, 1969, 1971).

Die ins Bewußtsein aufgenommene Information kann in drei additive Komponenten zerlegt werden: in (1) die durch die Sinne vermittelte apperzeptive, (2) die durch das vorbewußte Gedächtnis zugeführte semantische und (3) die auf Realisationen abzielende pragmatische Information. Wir hoffen, bei den folgenden experimentellen Untersuchungen die reine Apperzeptionsgeschwindigkeit in den Griff zu bekommen. In diesem

Fall wird die Zuflußgeschwindigkeit C_K gleich der Apperzeptionsgeschwindigkeit, da die anderen zwei Anteile auf Null reduziert werden.

C_K (bit/sec) ist dem Quotienten *SZQ/T* äquivalent. Sie wird durch das informationstheoretische Maß „Binärentscheidungen" und das physikalische Zeitmaß „Sekunden" gemessen.

2. *Zur Operationalisierung auf dem Absolutskalenniveau*

Im Falle des Absolutskalenniveaus müßten verschiedene Meßverfahren bei derselben Person unter vergleichbaren Bedingungen die gleichen absoluten Meßwerte, d.h. die gleichen Kardinalzahlen als Ergebnis liefern (Lehrl, 1974, 1975). Diese Voraussetzung ist zwar notwendig, aber noch nicht hinreichend für die Annahme einer latenten Größe (hier $\mathfrak{C}_{\mathfrak{K}}$) auf dem Absolutskalenniveau, da statt der identischen Transformation der latenten Variable auf die manifesten Merkmale eine nicht identische, aber jeweils gleich verzerrende Abbildungsfunktion gegeben sein kann. Zum Beleg des Absolutskalenniveaus latenter Variablen gehören also notwendig noch theoretische Begründungen.

Bisherige Versuche zur Validierung von C_K als metrischer Variable, gar auf dem Absolutskalenniveau, sind — soweit uns bekannt — als Hauptziel nicht unternommen worden; als Nebenergebnis anderer Intentionen scheinen sie gescheitert zu sein (Louven, 1964 u.a.). Das lag wohl an der Wahl ungeeigneter manifester Variablen und der Unvergleichbarkeit der experimentellen Bedingungen.

II. *Experimentelle Untersuchungen zur Apperzeptionsgeschwindigkeit*

1. *Untersuchungsplan, -durchführung und -hypothese*

Bei unseren Versuchen wurden ein- und zweistellige Zahlen und Groß- und Kleinbuchstaben in der nachfolgend angegebenen Reihenfolge geboten:

Versuch I II III

A.	5 4 7 0 9 8 1 3 6 2 5 8 4 1 0 6 9 7 4 2
B.	D U M L A D W C X E B K S C F H G U M Z
C.	34 79 70 95 88 16 43 62 21 56 85 49 71 30 65
D.	h l a v x u f t n r d s u g n i e s b r

Die vier Reihen A bis D wurden den Versuchspersonen nacheinander dreimal vorgelegt mit der Aufforderung, die Zahlen bzw. Buchstaben so schnell wie möglich zu lesen. Jede Reihe stand dabei auf einem gesonderten Kärtchen.

Von den jeweils drei gestoppten Zeiten wurde die kürzeste weiterverrechnet und die ermittelte Zeit mit dem Informationsgehalt der einzelnen Zeichen ins Verhältnis gesetzt. Daraus wurde C_K bestimmt. Setzt man z.B. das Buchstabenrepertoire mit 26 Zeichen an (Lauter, 1966), so erhält bei Gleichwahrscheinlichkeit des Auftretens jeder Buchstabe 4,7 bit an Information. Die Information einer einstelligen Zahl beträgt 3,3 und die einer zweistelligen 6,6 bit.

Soll C_K pro Person unter vergleichbaren Versuchsbedingungen gleich sein, müßte es 6,6/4,7 mal so lange dauern bis man eine zweistellige Zahl erkennt als einen Buchstaben.

Eine Zeile von 20 Buchstaben enthält 20 $*$ 4,7 = 94 bit Information. Kürzt man diesen Wert durch die Lesedauer, resultiert die manifeste C_K-Leistung in bit/sec.

Wir führten jeweils einen Laut- und einen Stilleseversuch durch, um einerseits zu langsame Sprechgeschwindigkeiten zu kontrollieren, wie wir sie bei den zweistelligen Zahlen erwarteten, die vorwiegend Viersilber sind. Andererseits ist es möglich, daß sich bei der Versuchsanordnung des Lautlesens der Apperzeptionszeit Verzögerungen durch die Auswahl der zu artikulierenden Zeichen überlagern.

Dauern Auswahl der zu realisierenden Zeichen (Realisationsgeschwindigkeit) und Sprechgeschwindigkeit zusammen länger als die Apperzeptionszeit, müßte das Stillesen weniger Zeit als das Lautlesen beanspruchen. Introspektiv kann man übrigens feststellen, daß die Realisationszeit keine große Rolle spielt, denn die Apperzeption füllt auch beim Lautleseversuch das ganze Bewußtsein aus. Das erwartet man auch aufgrund einer anderen Überlegung: Buchstaben- und Zahlenlesen wurden als unsere kulturellen Basisfertigkeiten so stark überlernt, daß der Realisation praktisch keine Freiheitsgrade mehr zur Verfügung stehen.

Unsere Versuchshypothese lautet: Pro Versuchsperson sind die über verschiedene Meßverfahren erhobenen C_K-Werte gleich. Sollte sich jedoch die Sprechgeschwindigkeit im Lautleseversuch auf die Ergebnisse auswirken, sind wenigstens die Stilleseversuche einander gleich.

2. *Versuchsergebnisse und Diskussion*

Der Versuch wurde an 27 Personen durchgeführt, die fast alle ein Universitätsstudium absolviert hatten. Einer ersten Orientierung diene Bild 1.

Bild 1: Mediane und mittlere Quartilabstände der 27 Versuchspersonen in den acht Leseversuchen, dimensioniert in bit/sec

Verfahren Nr.	Kennzeichnung	Median	mittlerer Quartilabstand
1	1stellige Zahlen laut	14,70 (21,30)*	1,63 (2,30)*
2	2stellige Zahlen laut	16,00	2,07
3	Großbuchstaben laut	20,86	2,63
4	Kleinbuchstaben laut	22,00	3,33
5	1stellige Zahlen still	15,30 (20,30)*	2,25 (3,00)*
6	2stellige Zahlen still	22,25	2,88
7	Großbuchstaben still	20,83	3,59
8	Kleinbuchstaben still	22,00	4,00

* Die Ergebnisse wurden auf ein Repertoire von 20 Zeichen bezogen.

Die einstelligen Zahlen erfüllen im Laut- und Stilleseversuch nicht die Versuchshypothese. Wir haben dazu die Ad-Hoc-Erklärung, daß man bei unserem Zahlensystem auf ein Repertoire von 20 Zeichen eingestellt wird. Dafür sprechen die Benennungen von elf bis neunzehn, die sich nicht dem bei größeren Zahlen verwendeten Benennungsschema fügen; außerdem geht das große Einmaleins von 1 bis 20.

Für das Lesen der Klein- und Großbuchstaben konnten wir keine nennenswerten Unterschiede der Statistiken ermitteln, ebenso zwischen den Still- und Lautleseversuchen mit diesen Verfahren. Der Lautleseversuch der zweistelligen Zahlen erbrachte ausnahmslos schlechtere Ergebnisse als der Stilleseversuch. Bei diesem fällt allerdings die überraschend gute Übereinstimmung mit den Resultaten der Buchstabenverfahren auf.

Zur Überprüfung der Versuchshypothese hatten wir mit einem Vorzeichentest (z.B. in Mittenecker, 1963) getestet, ob die verschiedenen C_K-Ergebnisse über alle Personen systematisch in einer Richtung voneinander abweichen. Dabei erhielten wir die in der oberen Dreiecksmatrix in Bild 2 dargestellten Resultate.

Bild 2: In der oberen Dreiecksmatrix stehen die Ergebnisse der Überprüfung, ob die verschiedenen Meßergebnisse über alle Versuchspersonen systematisch in einer Richtung voneinander abweichen. Die untere Dreiecksmatrix enthält die Meßfehler, die unter der Annahme errechnet wurden, daß die verschiedenen Meßverfahren die gleiche latente Variable auf dem Absolutskalenniveau erfassen.
Die Werte in den Klammern gelten für das Repertoire von 20 Zeichen.
Die Meßverfahren tragen die gleiche Nummer wie in Bild 1.

Verfahren	1	2	3	4	5	6	7	8
1		5%(1‰)	1‰(5%)	1‰(1%)	ns (1‰)* (ns)	1‰(ns)	1‰(ns)	1‰(ns)
2	11%(10%)		1‰	1‰	5%(1‰)	1‰	1‰	1‰
3	37%(6%)	15%		ns	1‰(ns)	ns	ns	ns
4	40%(6%)	17%	3%		1‰(ns)	ns	ns	ns
5	9% (30%)* (5%)	12%(14%)	31%(5%)	34%(5%)		1‰(5%)	1‰(ns)	1‰(ns)
6	43%(9%)	19%	6%	5%	38%(6%)		ns	ns
7	42%(8%)	18%	4%	4%	37%(6%)	3%		ns
8	44%(9%)	19%	6%	4%	38%(7%)	3%	3%	

*Hier wird das Verfahren 1 auf ein Repertoire von 10 und Verfahren 5 auf ein Repertoire von 20 Zeichen bezogen.

Selbst wenn wir vorsichtshalber den Versuch mit den einstelligen Zeichen nicht als Argument heranziehen, sehen wir die intraindividuelle Übereinstimmung der absoluten Stilleseergebnisse mit den Buchstaben- und zweistelligen Zahlenverfahren als Beleg für die indirekte Messung einer mindestens das Verhältnisskalenniveau erfüllenden latenten Grundgröße an. Denn für C_K käme nach Frank (1969, S. 97) höchstens noch das ganzzahlige Mehrfache in Frage. Allerdings erscheint die damit erreichte Größenordnung

von mindestens ca. 44 bit/sec aufgrund sonstiger Meßergebnisse und Überlegungen zu hoch (Erismann, 1958, 1959; Frank, 1960a, 1969; Hofstätter, 1957; Louven, 1964; Rohracher, 1960 u.a.).

Den manifesten Variablen scheint jedenfalls eine wechselseitige Abhängigkeit auf dem Absolutskalenniveau eigen zu sein. Dafür spricht ihre – vom Meßfehler abgesehen – Identität.

Für die Meßfehlerberechnungen der Absolutgrößen bieten sich nun Möglichkeiten, wie wir sie auf den anderen Skalenniveaus nicht kennen. Ein einfaches, praktisches Maß ist die halbe Differenz zwischen zwei Meßwerten bezogen auf den Mittelwert dieser Daten. Dieser Meßfehler ist für jede einzelne Person berechenbar und ist deshalb unabhängig von der jeweiligen Verteilung der Gesamtstichprobe. Die durchschnittlichen Meßfehler in Prozentangaben zeigt die untere Diagonalmatrix in Bild 2.

III. *Nutzen der Messungen auf dem Absolutskalenniveau*

Durch die Messung verschiedener manifester Variablen auf dem Absolutskalenniveau vermeiden wir die Anwendung populationsabhängiger statistischer Modelle, welche der vorwiegend auf der klassischen Meß- und Testtheorie aufgebauten psychologischen Testpsychologie schwerwiegende sachliche Kritik und z.T. zweifelhafte Erkenntnisse eingebracht haben (vgl. die Arbeiten von Kalveram, 1965; Merz und Kalveram, 1965; Fischer, 1968, 1974; Kalveram, 1969, 1970a, 1970b u.a.).

Sollten sich die hier gefundenen Ergebnisse weiterhin bestätigen lassen, geben sie uns eine theoretische Grundgröße im unverzerrten Maßstab wieder, wodurch es möglich werden kann, über die Kombinationen mit anderen Größen auf dem Absolutskalenniveau, wie vielleicht der Präsenzzeit, einfache psychologische Strukturmodelle zu errichten. Durch Korrelationen mit komplexen psychologischen Bezugsgrößen auf dem bisher nichtmetrischen Meßniveau, wie Intelligenz, Kreativität, Gedächtnis, müßte man tiefergreifende Einsichten in deren Struktur gewinnen, als über Meßgrößen, die ausnahmslos auf niedrigeren Skalenniveaus liegen. Zusammenhänge zwischen der Apperzeptionsgeschwindigkeit und Wachheit (Rohracher, 1960), Lebensalter (Riedel, 1966) und Intelligenz (Lehrl, 1974) wurden bereits empirisch belegt.

Als weiteres wichtiges Anwendungsgebiet kommt die Psychopathologie in Frage. Sie interessiert sich besonders für die Zusammenhänge von auf dem Absolutskalenniveau gelegenen Größen mit psychischen Störungen, weil Verlaufsuntersuchungen für sie eine besondere Rolle spielen (vgl. Wieck, 1973), z.B. zur Therapiekontrolle reversibler körperlich begründbarer Psychosen (Funktionspsychosen) und zyklothymer Depression. Dabei könnten die Veränderungen in Prozentwerten und sogar Kardinalzahlen angegeben werden.

Ein weiterer Vorzug der Messung der Apperzeptionsgeschwindigkeit liegt in der Ökonomie und einfachen Durchführung: eine solche Messung ist in etwa zwei Minuten durchführbar, was im psychopathologischen Gebiet der oft geringen Belastbarkeit der Patienten Rechnung trägt.

Schrifttum

Baer, Karl Ernst von: Welche Auffassung der lebenden Natur ist die richtige und wie ist diese Auffassung auf die Entomologie anzuwenden? Beilage in: Grundlagenstudien aus Kybernetik und Geisteswissenschaft 11 (1970), 83–89

Cube, Felix von: Was ist Kybernetik? Deutscher Taschenbuchverlag, München 1972, 2. Auflage

Erismann, Theodor: Allgemeine Psychologie II. De Gruyter, Berlin 1959

Fischer, Gerhard H.: Neue Entwicklungen in der psychologischen Testtheorie. In Fischer, G.H. (Hrsg.): Psychologische Testtheorie. Huber, Bern-Stuttgart 1968

Fischer, Gerhard H.: Einführung in die Theorie psychologischer Tests. Grundlagen und Anwendungen. Huber, Bern-Stuttgart-Wien 1974

Frank, Helmar: Über grundlegende Sätze der Informationspsychologie. Grundlagenstudien aus Kybernetik und Geisteswissenschaft 1 (1960a), 25–32

Frank, Helmar: Über eine informationspsychologische Maßbestimmung der semantischen und pragmatischen Information. Grundlagenstudien aus Kybernetik und Geisteswissenschaft 1 (1960b), 145–152

Frank, Helmar: Kybernetische Grundlagen der Pädagogik. Agis, Baden-Baden 1969, 2. Auflage, Band 2

Frank, Helmar: Kybernetische Grundlagen der Pädagogik. UTB-Kohlhammer, Stuttgart-Berlin-Köln-Mainz 1971

Hofstätter, Peter R.: Psychologie. Fischer, Frankfurt/Main 1957

Kalveram, Karl Th.: Die Veränderung der Faktorenstrukturen durch „simultane Überlagerung". Arch. ges. Psychol. 117 (1965), 296–305

Kalveram, Karl Th.: Kompensatorische Kovarianz als Beispiel für einen Selektionseffekt. Arch. ges. Psychol. 121 (1969), 255-265

Kalveram, Karl Th.: Über Faktorenanalyse. Kritik eines theoretischen Konzepts und seine mathematische Neuformulierung. Arch. Psychol. 122 (1970), 92–118

Kalveram, Karl Th.: Probleme der Selektion in der Faktorenanalyse. Arch. Psychol. 122 (1970), 215–222

Lauter, Josef: Ein Beitrag zur Entropie der deutschen Sprache. Grundlagenstudien aus Kybernetik und Geisteswissenschaft 7 (1966), 33–38

Lehrl, Siegfried: Subjektives Zeitquant und Intelligenz. Grundlagenstudien aus Kybernetik und Geisteswissenschaft 15 (1974), 91–96

Lehrl, Siegfried: Operationalisierbarkeit und Nutzen des Kurzspeichermodells nach H. Frank. Grundlagenstudien aus Kybernetik und Geisteswissenschaft, vorgelegt

Louven, Bernd: Vegetative Beeinflussung der subjektiven Zeiteinheit des sogenannten Moments der optischen Wahrnehmung. Z. exp. angew. Psychol. 11 (1964), 314–329

Merz, Ferdinand und Karl Th. Kalveram: Kritik der Differenzierungshypothese der Intelligenz. Arch. ges. Psychol. 117 (1965), 287–295

Mittenecker, Erich: Planung und statistische Auswertung von Experimenten. Deuticke, Wien 1964, 4. Auflage

Pomm, Hermann P.: Der Einfluß des Lebensalters auf die Schnelligkeit psychischer Abläufe. Grundlagenstudien aus Kybernetik und Geisteswissenschaft 11 (1970), 83–89

Riedel, Harald: Psychostruktur. Schnelle, Quickborn 1967

Rohracher, Hubert: Einführung in die Psychologie. Urban und Schwarzenberg: Wien-Innsbruck 1960, 7. Auflage

Stevens, S.S.: Ratio Scales of Opinion. In: Whitla, D.K. (Hrsg.) Handbook of measurement and assessment in behavioral sciences. Addison-Wesley, Reading-Menlo Park-London-Don Mills 1968

Uexküll, Jakob von: Theoretische Biologie. Springer, Berlin 1928, 2. Auflage

Wieck, Hans H. (Hrsg.): Angewandte Psychopathometrie. Janssen Symposion Band 8, Düsseldorf 1973

Eingegangen am 15. Mai 1975

Anschrift der Verfasser:

Dipl.-Psych. S. Lehrl, Dipl.-Psych. H. Erzigkeit und Dipl.-Psych. V.J. Galster, alle: Universitäts-Nervenklinik Erlangen, 852 Erlangen, Schwabachanlage 10

Personalien

Frau Prof. Dr. Eleonore PIETSCH, bisher Professorin der Kybernetik mit Schwerpunkt „Didaktik der Programmierten Instruktion" an der Pädagogischen Hochschule Berlin, hat einen Ruf an die Universität Münster angenommen.

Hinweise

Die Knapptextbeilage „Homo kaj Informo" mit Kurzfassungen aus verschiedenen wissenschaftlichen Zeitschriften in internationaler Sprache erscheint mit ihrer dritten Nummer in GrKG 16/4, Dezember 1975.

In der Verlagsgemeinschaft Schroedel/Schöningh erschien in der Reihe „Paderborner Werkstattgespräche" unter dem Titel „Kybernetik und Bildung I" das Arbeitsergebnis der ersten fünf kybernetisch-pädagogischen Werkstattgespräche der GPI-Arbeitsgruppe Kybernetik (180 S., DM 14.80). Dem Herausgeberkreis unter Leitung von Günter Lobin gelang es, die 14 Autoren zu veranlassen, die bisher als Arbeitspapiere vorliegenden Protokolle der Werkstattgespräche zur Grundlage von 18 straffen Originalarbeiten zu machen, deren wesentlicher Inhalt je anschließend zu einem Knapptext in Internationaler Sprache zusammengefaßt ist. Ferner sind die vom Arbeitskreis vereinbarten „Mindestgütekriterien für wissenschaftliche Originalarbeiten" im vollständigen Wortlaut abgedruckt.

Bevorstehende Veranstaltungen

Die nächste Arbeitstagung der *Arbeitsgemeinschaft Computer-unterstützter Unterricht (ACU)* findet am 25./26. September 1975 in Stuttgart statt.

Veranstalter der ACU-Tagung ist die CUU-Forschungsgruppe am Institut für Informatik unter Beteiligung der CAT-Gruppe der Fachhochschule Esslingen am Neckar.

Als Themen dieser Tagung wurden von der ACU festgelegt:

- „Entwurf und Implementierung von CUU-Systemen;
  Probleme der Übertragung von Teachware" sowie
- „Entwurf und Implementierung einer Schulsprache"
  mit Diskussion der Ergebnisse des Arbeitskreises Schulsprachen.

Für Einführungsreferate zu diesen Themen wurden Prof. Dr. A. Schmitt (Universität Karlsruhe) und Prof. Dr. K. Brunnstein (Universität Hamburg) gewonnen.

Weitere Auskünfte erteilt
Prof. Dr. R. Gunzenhäuser, Institut für Informatik der Universität Stuttgart
7 Stuttgart 1, Herdweg 51

Semiotisches Coloquium, 1.10.–5.10.75 an der Technischen Universität in Berlin. Auskünfte erteilt das Institut für Linguistik der TU, 1 Berlin 10, Ernst-Reuter-Platz 10.

Das 9. Werkstattgespräch der Arbeitsgruppe Kybernetik der GPI findet vom 16.–18.10.1975 in Paderborn statt.

Leitung: Günter Lobin und Horst Richter, FEoLL, 479 Paderborn, Rathenaustr. 69–71

Rahmenthemen: 1. Zur Problematik der Bewertung und Beurteilung von Medien
2. Lernwahrscheinlichkeiten und Lernstrategien

Das 14. internationale Symposion der GPI (Gesellschaft für Programmierte Instruktion und Mediendidaktik) mußte vorverlegt werden: es findet nicht wie vorgesehen in den Osterferien sondern schon vom 31.3.–3.4.76 in Hamburg statt. Rahmenthema: „Bilanz und Perspektiven der Bildungstechnologie".
Vortragsanmeldung und Anfragen an den Vorsitzenden und wissenschaftlichen Tagungsleiter Prof. Dr. Uwe Lehnert, Sekretariat der GPI c/o Institut für Kybernetik, 1 Berlin 46, Malteserstr. 74-100

„Wirtschaftsbeziehungen und wissenschaftliche Zusammenarbeit im mehrsprachigen Europa" ist das Rahmenthema von europäischen Sommer-Universitätswochen, die vom 16.7.–30.7.76 im jugoslawischen Badeort Primosten (Sibenik) geplant sind. Bei der wissenschaftlichen Durchführung sollen Fakultäten, Institute und wissenschaftliche Gesellschaften verschiedener europäischer Länder zusammenarbeiten, koordiniert durch die Gesellschaft für sprachgrenzübergreifende Europäische Verständigung (Europa-Klub). Die Kurse, Seminare und Vortragsfolgen sollen in 5 Fakultäten gegliedert werden, davon eine für den Fachbereich Kybernetik, Pädagogik und Interlinguistik. Das vorläufige Programm kann bis Ende Oktober 1975 von der Geschäftsstelle des Europaklubs (D-479 Paderborn, Riemekestr. 62) angefordert werden. Diese ist auch eine der vorgesehenen Stellen für die Inskription, die bis zum Jahresende zu stark ermäßigten Gebühren möglich sein wird.

Veranstaltungsberichte

Kurzinformation über das 8. Werkstattgespräch der Arbeitsgruppe Kybernetik der GPI (Gesellschaft für programmierte Information) am 20. und 21. Juni 1975 unter Leitung von Prof. Dr.-Ing. W. Oppelt an der Technischen Hochschule Darmstadt.

Als Hauptpunkt des Gesprächs wurden *Psychomotorische Lernvorgänge* behandelt. W. Oppelt gab zuerst einen Überblick über Begriff und Einteilung von Lernvorgängen aus der Sicht des Ingenieurs. Dieser ist an die Beschreibung technischer Vorgänge in automatischen Anlagen gewöhnt, deren Zusammenhänge er in sogenannten Blockschaltbildern darstellt. Dabei zeigen sich Parallelen zwischen den selbsteinstellenden Regelvorgängen (adaptive Regelkreise) und den Lernvorgängen des Menschen beim Erlernen von Bewegungsmustern. Die im Blockschaltbild aufgetragenen Zusammenhänge werden an Analog-Rechenanlagen (oder entsprechend programmierten Digitalrechnern) nachgebildet (simuliert). Das zwingt zu einer präzisen und quantitativen Festlegung der Bedeutung der einzelnen Größen der Anlage. Veränderung in Struktur und in den Parametern kann so leicht überblickt werden. Der Mensch selbst kann als Teil einer technischen Anlage untersucht werden.

Meßtechnische Probleme bei der Erforschung von Lernvorgängen bei *Turnübungen* behandelte W. L. Bauer in seinem Vortrag. Als typische Turnübung betrachtete er die Riesenwelle am Reck. An mechanisch-dynamischen Ersatzsystemen wurde der Typus der hier zur Beschreibung notwendigen Differentialgleichungen gezeigt. Ein Reck war mit Meßgeräten versehen worden, um Kräfte und Momente während der Turnübung zu messen und zu registrieren. An dem Turner waren kleine Lämpchen angebracht worden, die die Bahn seines Körpers und seiner Gliedmaßen in Lichtspuraufnahmen sichtbar machten. Typische Unterschiede zwischen dem gelernten und dem ungelernten Zustand konnten auf diese Weise von Herrn W. L. Bauer bereits bei seinen ersten Versuchen gefunden werden.

Über Lernvorgänge bei der *Flugzeuglandung* sprach W. P. Bauer. Der Landevorgang erfolgt nach einem im Kopf des Flugzeugführers gespeicherten Programm. Das Flugzeug ändert beim Landevorgang bereits merklich seine Eigenschaften, da die Fluggeschwindigkeit sich dabei im Verhältnis 1:2 ändert (Zeitvariantes System). Das hierfür maßgebende Blockschaltbild ist infolgedessen schon recht verwickelt. In Versuchen sollen die einzelnen Blöcke näher identifiziert werden. Entsprechende Theorien sind von seiten der Ingenieure hierzu ausgearbeitet worden.
Bei einem Rundgang durch das Institut für Regelungstechnik wurden Flugsimulatoren gezeigt, die von den Teilnehmern bedient werden konnten und die einen „gefühlsmäßigen" Eindruck des Geschehens abgaben.

Über *Kommunikation und Bewegungsentwurf* in der Sensomotorik sprach Dr. Ungerer. Er zeigte Symbolbilder, die das Lehr-Lern-System in seiner gesamten Ausdehnung sichtbar werden ließen. Von da ging er auf sensomotorische Kreismodelle (z.B. v. Weizsäcker 1933) und auf sensomotorische Regelkreise ein, die schließlich soweit verfeinert wurden, daß die Signalübertragung im pyramidalen und extrapyramidalen System gezeigt werden konnte. An Hand dieser Darstellungen wurde der Aufbau eines „Bewegungsentwurfs" (wie er als Vorlage für Turnübungen notwendig ist) entwickelt.

Theoretische (regelungstheoretische) Fundierung von *Lehrstoff und Lehrzielen in einem Psychostrukturmodell* wurde von A. Reitzer vorgestellt. Er hatte die geschichtliche Entwicklung dieser Modellvorstellungen zusammengetragen und zeigte die dabei vorkommenden Variationen ausführlich und in den Einzelheiten. Von Interesse waren vor allem zahlenmäßige Angaben über den Informationsfluß in den einzelnen Verbindungskanälen der Strukturen.

Die ursprünglich vorgesehenen Vorträge von K. Ulrich und H. Walter (über Superierung durch Klassenbildung) mußten ausfallen.

Im Anschluß an die einzelnen Vorträge und bei der Institutsbesichtigung ergaben sich eingehende Diskussionen. Bemängelt wurde dabei vor allem, daß die Vorstellungen des Ingenieurs sich nur auf das „Selbst-Lernen" zu beziehen scheinen und das „Lehrer-Schüler-Verhältnis" in den gezeigten Blockschaltbildern zu kurz kommt. Infolgedessen sei auch nicht zu erkennen, welche Signalkanäle zur Bildung der Lernstruktur als wesentlich und welche als nebensächlich anzusehen seien. –

Richtlinien für die Manuskriptabfassung

Es wird zur Beschleunigung der Publikation gebeten, Beiträge an die Schriftleitung in doppelter Ausfertigung einzureichen. Etwaige Tuschzeichnungen oder Photos brauchen nur einfach eingereicht zu werden.

Artikel von mehr als 12 Druckseiten Umfang können in der Regel nicht angenommen werden. Unverlangte Manuskripte können nur zurückgesandt werden, wenn Rückporto beiliegt. Es wird gebeten bei nicht in deutscher Sprache verfaßten Manuskripten eine deutsche Zusammenfassung anzufügen.

Die verwendete Literatur ist, nach Autorennamen alphabetisch (verschiedene Werke desselben Autors chronologisch) geordnet, in einem Schrifttumsverzeichnis am Schluß des Beitrags zusammenzustellen. Die Vornamen der Autoren sind mindestens abgekürzt zu nennen. Bei selbständigen Veröffentlichungen sind Titel, Erscheinungsort und -jahr, womöglich auch Verlag, anzugeben. Zeitschriftenbeiträge werden vermerkt durch Name der Zeitschrift, Band, Seite (z. B. S. 317—324) und Jahr, in dieser Reihenfolge. (Titel der Arbeit kann angeführt werden.) Im selben Jahr erschienene Arbeiten desselben Autors werden durch den Zusatz „a", „b" etc. ausgezeichnet. Im Text soll grundsätzlich durch Nennung des Autorennamens und des Erscheinungsjahrs des zitierten Werkes (evtl. mit dem Zusatz „a" etc.), in der Regel aber nicht durch Anführung des ganzen Buchtitels zitiert werden. Wo es sinnvoll ist, sollte bei selbständigen Veröffentlichungen und längeren Zeitschriftenartikeln auch Seitenzahl oder Paragraph genannt werden. Anmerkungen sind zu vermeiden.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in dieser Zeitschrift berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.